DIE MINERALSTICKSTOFF-VERSORGUNG EINIGER SALZRASEN-GESELLSCHAFTEN DES GRASWARDERS VOR HEILIGENHAFEN/OSTSEE

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Gerd-Erich Zimmek
aus Detmold

Göttingen, Januar 1975

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534917_0027

Die vorliegenden Untersuchungen wurden am Systematisch-Geobotanischen Institut der Universität Göttingen durchgeführt.

Dem Leiter des Instituts, Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. H. Ellenberg, möchte ich recht herzlich für die Überlassung eines Arbeitsplatzes sowie für das ständige Interesse, zahlreiche wertvolle Anregungen und die stete Förderung dieser Arbeit danken.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Dr. Schmeisky für die Anregung zu dieser Arbeit und meiner Frau Ilona Zimmek, die mir bei der Entnahme der Bodenproben eine große Hilfe war.

Auch möchte ich Herrn Priv.-Doz. Dr. M. Runge sowie allen übrigen Mitarbeitern des Systematisch-Geobotanischen Instituts danken, die mir in vielen Diskussionen wichtige Ratschläge gegeben haben und mir bei der technischen Arbeit hilfreich zur Seite standen.

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

INHALTSVERZEICHNIS Seite

1. Einleitung 1

2. Das Untersuchungsgebiet, seine Pflanzengesellschaften und deren standörtliche Bedingungen 3

2.1 Das Untersuchungsgebiet 3

2.2 Auswahl der Probeflächen 5

2.3 Die Pflanzengesellschaften und ihre Böden 5

2.31 Die Strandwallkuppen 8

2.32 Die Boddenbinsenweiden 9

2.33 Der Andelrasen 10

3. Probeentnahme und Analysenmethoden 13

3.1 Die Entnahme der Bodenproben und ihre Verarbeitung 13

3.2 Bestimmung des Gehaltes an fester Substanz pro Volumeneinheit und des Porenvolumens 14

3.3 Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes 15

3.4 Bestimmung des organisch gebundenen Kohlenstoffs 15

3.5 Bestimmung der Chloridkonzentration 16

3.6 pH-Messung 16

3.7 Die Mineralstickstoffbestimmung 16

4. Ökologische Untersuchungen 18

4.1 Die Wasserversorgung der untersuchten Pflanzengesellschaften 18

4.2 Die Bodenacidität 21

4.3 Die Mineralstickstoffversorgung der Pflanzengesellschaften des Graswarders 24

4.31 Grundlagen 24

4.32 Die im Brutversuch ermittelte Stickstoffmineralisation 25

4.321 Versuchsbedingungen 25

4.322 Ergebnisse 25

4.323 Der Einfluß von Salzkonzentrationen in der Bodenlösung auf die Stickstoffmineralisation 35

4.33 Die Stickstoffmineralisation im Jahresgang 37

4.33 Die Stickstoffmineralisation im Jahresgang 37

4.331 Die klimatischen Bedingungen in den Untersuchungsjahren 37

4.332 Die Stickstoffmineralisation im Auflagehumus 39

4.333 Die Abstufung der Stickstoffmineralisation in den tieferen Bodenhorizonten 44

4.334 Die Stickstoffmineralisation in den unbeweideten Probeflächen 45

4.335 Die Jahressummen der Mineralstickstoffnachlieferung 49

5. Diskussion 52

5.1 Zur Methodik 52

5.2 Zum Jahresgang der Stickstoffmineralisation 53

5.3 Zum Stickstoffhaushalt der Strandwälle 54

5.4 Die Auswirkung von Frösten auf die Stickstoffmineralisierung 56

5.5 Bedeutung des Stickstoffs für die Konkurrenzkraft einiger Arten des Küstenbereichs 58

5.6 Dynamik des Stickstoffs in den Strandwällen 58

6. Zusammenfassung 60

7. Literaturverzeichnis 62

1. EINLEITUNG

Die ökologische Untersuchung küstennaher Grünlandgesellschaften stellt sich als ein besonders vielschichtiges Problem dar. Einerseits kann davon ausgegangen werden, daß im wesentlichen auch für sie die biologischen Gesetze und Elementkreisläufe terristrischer Ökosysteme ihre Gültigkeit haben, andererseits muß aber dem Meerwasser mit seinen Auswirkungen auf die Wasserversorgung und Salzkonzentration, Sedimentations- und Erosionsvorgänge ebenso wie auf die Zufuhr und Auswaschung von Nährstoffen eine große Bedeutung beigemessen werden. In ihrer Gesamtheit geben diese Faktoren dem Entwicklungsablauf und der Artenzusammensetzung der Gesellschaften in der Kampfzone zwischen Land und Meer ihren ganz besonderen Charakter.

Ausführliche pflanzensoziologische Beschreibungen von Salzrasengesellschaften liegen bereits aus allen Teilen der Welt vor. Eine zusammenfassende Übersicht gibt CHAPMAN (1960). Die Untersuchung der verschiedenen ökologischen Komponenten ist aber bisher recht unterschiedlich gehandhabt worden, wobei sich der weitaus größte Teil der Arbeiten mit dem Einfluß von Salzkonzentrationen und Überflutungshäufigkeit auf die Verteilung der Pflanzengesellschaften und auf die Konkurrenzkraft der einzelnen Arten befaßt hat. Erst in jüngster Zeit haben sich einige Wissenschaftler wie TYLER (1971), HELLWANI (1971), GRAY & BUNCE (1972) dem Problemkreis der Nährstoffumsätze in diesen Ökosystemen zugewandt.

Am Beispiel des Graswarders vor Heiligenhafen/Ostsee lassen sich diese Umsätze recht gut studieren, zumal über dieses Naturschutzgebiet schon vielseitige Untersuchungen vorliegen. Anfangs standen auch hier pflanzensoziologische Aufnahmen sowie der Salz- und Wasserfaktor im Vordergrund (KUSSEROW 1970, SCHMEISKY 1974, ZIMMEK 1972 u. a.).

Da die Pflanzengesellschaften im Bereich der Meeresspülsäume im allgemeinen als nitrophil bezeichnet werden, dem pflanzenverfügbaren Stickstoff aber auch eine dominierende Rolle bei der Zusammensetzung und Vitalität von Pflanzengesellschaften zukommt (ELLENBERG 1964), sollte mit der Untersuchung der Stickstoffmineralisation eine Grundlage zur Beurteilung der allgemeinen Nährstoffversorgung dieser Salzrasengesellschaften erarbeitet werden.

Auf Strandwällen verschiedenen Alters waren die Vorräte an Gesamtstickstoff und organischem Kohlenstoff bereits bestimmt und das C/N-Verhältnis berechnet worden (HOPPE 1971, PERSCHKE 1974). Es war deshalb zu erwarten, daß zusammen mit diesen Angaben und der relativ guten Datierbarkeit des jeweiligen Strandwallalters die Kenntnis der Stickstoffmineralisation auch eine Beurteilung des zeitlichen Verlaufs der Stickstoffanreicherung im Boden ermöglichen würde.

Das Untersuchungsgebiet zeigt mit seinen Strandwallsystemen auf kleinstem Raum ökologisch extrem unterschiedliche Pflanzenstandorte. Diese spiegeln sich in einer deutlichen Zonierung der Gesellschaften wider, die von dem häufig staunassen Andelrasen bis zu den meist trockenen Standorten der Strandwallkuppen reichen. Da die jahreszeitlichen Schwankungen der Salzkonzentration in der Bodenlösung für die einzelnen Pflanzengesellschaften bereits bestimmt worden sind (SCHMEISKY 1974), war es ein weiteres Ziel dieser Arbeit, zu überprüfen, ob für die Vegetationszonierung neben dem Wasserhaushalt und der Acidität der Böden auch das Mineralstickstoff-Angebot und dessen jahreszeitliche Unterschiede verantwortlich sind.

2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET, SEINE PFLANZENGESELLSCHAFTEN UND DEREN STANDÖRTLICHE BEDINGUNGEN

2.1 Das Untersuchungsgebiet

Der Graswarder ist ein Strandwallsystem, das sich östlich der Hohwachter Bucht im Fehmarn-Sund gebildet hat und der Stadt Heiligenhafen vorgelagert ist (Abb. 1 u. 2). Die Geologie des Geländes sowie die Dynamik und historische Abfolge seiner Entstehung ist ausführlich bearbeitet und in mehreren Veröffentlichungen beschrieben worden (SEIFFERT 1955 a, b, SCHMITZ 1953, KÖSTER 1955, 1961 u. a.). Demnach stammt das Material, überwiegend Sand, Kies und Geröll, von der aus einer Stauchmoräne gebildeten Steilküste im Westen der Stadt Heiligenhafen, von wo es durch Abrasionsvorgänge abgetragen und durch die dort vorherrschenden Strömungen der Ostsee in östlicher Richtung verlagert wird. Da dieser ständige Transport- und Sedimentationsablauf nicht gleichmäßig vor sich geht, haben sich durch den Einfluß wechselnder Wasserstände und gelegentlicher Sturmfluten die charakteristischen Strandwälle gebildet. Während am östlichen Ende des Graswarders gerade 1974 das Anfangsstadium sowie das ständige Weiterwachsen eines neuen Warder-Hakens zu beobachten war, wird die Entstehung der ältesten, im Westen liegenden Strandwälle auf den Beginn des 15. Jahrhunderts datiert (Abb. 2).

Vom ältesten bis zum jüngsten Strandwall ist eine auffallende Zunahme der Höhe über dem Wasserspiegel zu beobachten. So weisen die ältesten Strandwälle eine maximale Höhe von ca. 0,6 m über N. N. auf, während sich die Strandwälle im östlichen Teil des Graswarders bis 1,3 m über N. N. erheben und der jüngste ebenso wie der küstenparallele Strandwall eine Höhe über 1,6 m erreicht.

Der Höhenunterschied zwischen den verschieden alten Strandwällen wird neben Setzungserscheinungen im wesentlichen auf die relative Wasserspiegelhebung im deutschen Ostseeraum zurückgeführt, die etwa 7 bis 10 cm im Jahrhundert ausmacht. Durch den in Bezug auf die Ausgangssituation angestiegenen Grundwasserspiegel läßt sich besonders im Bereich der älteren Strandwälle die Ausbildung einer Torfschicht beobachten, die auf vegetative Verlandungsprozesse zurückzuführen ist und hier eine Mächtigkeit bis zu über 1,0 m erreicht (PERSCHKE 1974). Auch in den Senken zwischen den jüngeren Strandwällen ist bereits eine Torfschicht entstanden, die eine Dicke von 30 - 40 cm aufweist.

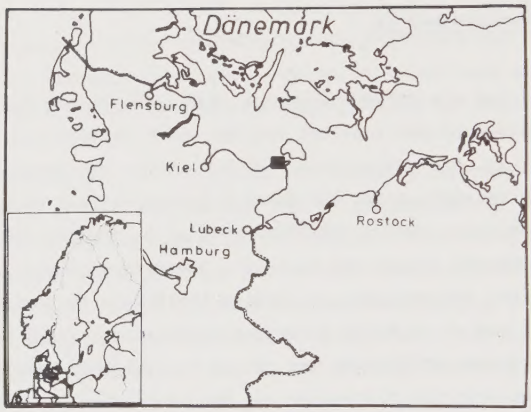

Abb. 1: Die geographische Lage des Untersuchungsgebietes

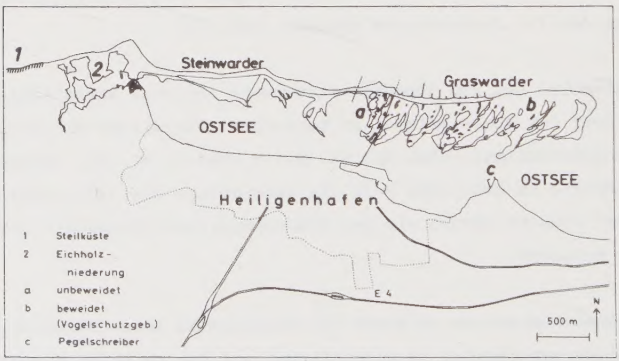

Abb. 2: Die Lage des Graswarders vor Heiligenhafen

2.2 Die Auswahl der Probeflächen

Der größte Teil des Graswarders wird seit Jahrzehnten als Standweide für Jungrinder genutzt. Hierbei werden die Weidetiere in der Regel im Mai aufgetrieben und verbleiben bis zum September auf dem Gelände. Im westlichen und ältesten Bereich des Graswarders befindet sich ein seit langer Zeit unbeweidetes Gebiet, das eine von dem beweideten Teil auffallend abweichende Vegetation trägt (SCHMEISKY 1974). Dieses Gelände wurde in die Untersuchung nicht mit einbezogen, da es durch den Ausbau des Heiligenhafener Yachthafens zum Teil stark in Mitleidenschaft gezogen war und die ungestörte Probenentnahme und -lagerung über zwei Vegetationsperioden nicht gewährleistet erschien. Für die Untersuchung wurden drei verschieden alte Strandwälle ausgewählt (Abb. 3). Auf den beiden älteren Strandwällen bestanden bereits drei Jahre vor Beginn der Arbeit angelegte Dauerquadrate, die von der Beweidung ausgenommen waren. Hier wurde jeweils eine beweidete und eine unbeweidete Parallelfläche berücksichtigt, um die Auswirkung der Nichtbeweidung auf die Mineralstickstoff-Nachlieferung abschätzen zu können.

2.3 Die Pflanzengesellschaften und ihre Böden

Die Probeflächen wurden so gewählt, daß die von SCHMEISKY (1974) für den Graswarder als typisch bezeichneten Vegetationseinheiten in ihrer charakteristischen Artenzusammensetzung und Zonierung berücksichtigt werden konnten (Abb. 4).

Die Nomenklatur der Pflanzen entspricht OBERDORFER (1970).

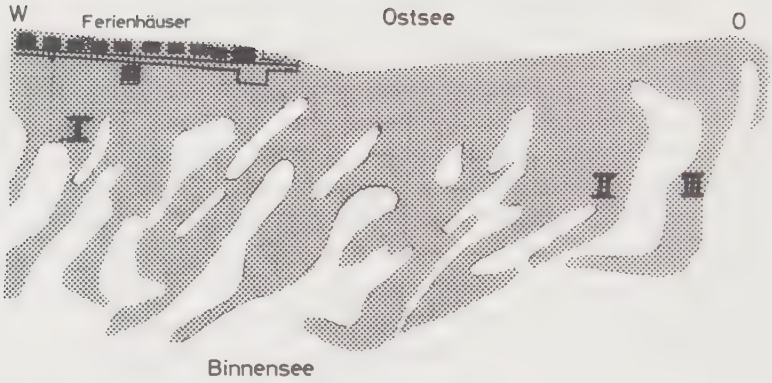

Abb. 3: Die Lage der drei untersuchten Strandwälle auf dem Graswarder Strandwall I (400 - 450 Jahre alt), Strandwall II (100 - 150 Jahre), Strandwall III (50 Jahre)

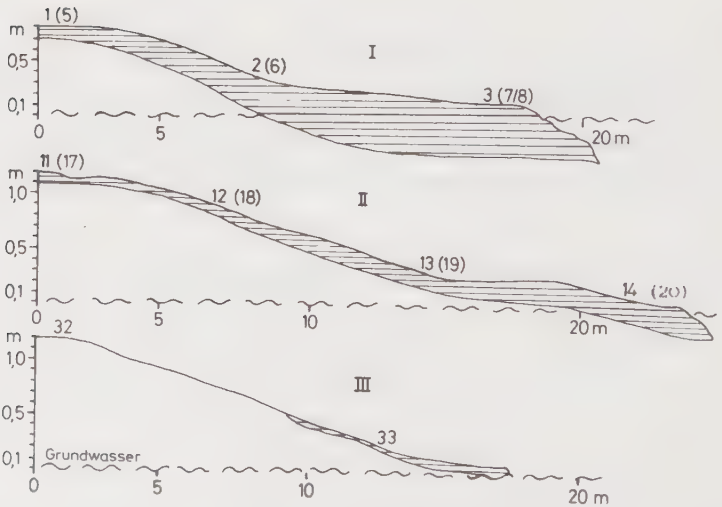

Abb. 4: Profile durch die drei untersuchten Strandwälle mit der Lage und Numerierung ihrer jeweiligen Probeflächen.
Nummern in Klammern: beweidete Flächen; schraffiert: humose Auflageschicht

Tab. 1: Die untersuchten Pflanzengesellschaften des Graswarders

Pflanzengesellschaften	Probeflächen-Nr.	beweidet (b) unbeweidet (u)
Strandwall I		
Queckenrasen	1	(u)
Lolium-Trittrasen	5	(b)
Rotschwingelrasen	2	(u)
Boddenbinsenweide *Festuca rubra*-reich	6	(b)
Andelrasen	3	(u)
Triglochin maritimum-reich	7 u. 8	(b)
Strandwall II		
Lolium-Trittrasen	11	(u)
Armeria maritima-reich	17	(b)
Rotschwingelrasen	12	(u)
mit *Achillea millefolium*	18	(b)
Rotschwingelrasen	13	(u)
mit *Potentilla anserina*	19	(b)
Andelrasen	14	(u)
Plantago maritima-reich	20	(b)
Strandwall III		
Überwiegend vegetationslose Wallkuppe	32	(b)
Vereinzelt mit *Honckenya peploides, Sedum acre, Viola tricolor, Erodium cicutarium*		
Geschlossener, aber stellenweise übersandeter Bestand von *Festuca rubra, Trifolium fragiferum, Potentilla anserina* u. a.	33	(b)

2.31 Die Strandwallkuppen

Unter dem Einfluß der Beweidung hat sich eine Lolium-Trittrasengesellschaft ausgebildet, in der neben *Lolium perenne* und *Festuca rubra* vor allem *Armeria maritima, Poa pratensis, Achillea millefolium, Taraxacum officinale* und *Trifolium repens*, wenn auch meist vereinzelt, so doch mit großer Stetigkeit das Erscheinungsbild prägen. Dagegen entstand in dem eingezäunten Bereich auf Strandwall I ein nahezu einartiger Bestand der konkurrenzkräftigen Quecke (*Agropyron repens*), gegen die sich im wesentlichen neben *Festuca rubra* nur *Achillea millefolium* behaupten konnten. Durch die ausbleibende Trittbelastung, die von KLAPP (1965) mit 21 kg/6,5 cm^2 bei Rindern angegeben wird, hat sich die oberste Bodenschicht auf den unbeweideten Probeflächen deutlich aufgelockert; eine Entwicklung, die durch die verstärkt anfallende Streu mit verursacht wird.

Unter der 10 cm starken organogenen Auflageschicht schließt sich eine durch Humusstoffe schwarz-grau gefärbte Sandschicht von ca. 20 cm an. Darauf folgt eine 40 cm starke schwarz-braune Sandschicht, die mit gröberen Kiesanteilen durchsetzt und im Bereich des Grundwassers einer Kiesschicht aufgelagert ist (Abb. 5).

Abweichend von der Pflanzendecke des älteren Strandwalls I hat sich auf dem jüngeren Strandwall II noch keine vollständig geschlossene Vegetationsdecke bilden können. Hier tritt am auffälligsten zur Blütezeit im Juni/Juli *Armeria maritima* sowohl auf der beweideten wie der unbeweideten Fläche in den Vordergrund. Daneben sind mit großer Stetigkeit *Honckenya peploides, Sedum acre, Erodium cicutarium, Bromus mollis, Festuca rubra* und *Galium verum* anzutreffen. Auf von Kaninchen aufgeworfenen kleineren Sandflächen tritt häufig *Carex arenaria* und in der unbeweideten Fläche auch *Ammophila arenaria* auf.

Die organische Auflageschicht ist hier max. 5 cm stark, worauf sich ein intensiv durchwurzelter Horizont von 20 cm anschließt, der von einem sehr humusarmen Sand mit einem großen Anteil an mittlerem und groben Kies gebildet wird (Abb. 6).

Die Wallkuppe des jüngsten Strandwalles III wird äußerst lückenhaft von einer Pioniervegetation besiedelt, deren häufigste Vertreter *Viola tricolor*,

Honckenya peploides, *Sedum acre*, *Erodium cicutarium* und vereinzelt *Eryngium maritimum* sind.

Der Boden wird hier von hellem lockeren Sand gebildet, wobei in den obersten Horizonten eine relative Anreicherung von groben Kies zu beobachten ist, da der Feinsand sowohl vom Wind ausgeblasen als auch von Sturmfluten ausgewaschen wird. Die stellenweise schwach auftretende Dunkelfärbung des Sandes weist auf eine einsetzende Anreicherung von organischem Material hin.

Im Bereich des Spülsaumes werden dageben große Mengen von abgerissenen und angeschwemmten Algen und Tangen abgelagert, für die ein Gesamtstickstoffgehalt zwischen 2,26 und 2,42 % nachgewiesen werden konnte. Dieses stickstoffreiche organische Material wird bei Hochwasser etwa auf halbe Strandwallhöhe (ca. 0,8 m über N. N.) gehoben und durch übergewehten Sand so gefestigt, daß es von späteren Hochwasserständen nicht mehr so leicht abgetragen, sondern nur weiter mit Sand überlagert wird (Abb. 7). Da sich in diesem extremen Bereich der Strandwälle aber keine höheren Pflanzen längere Zeit behaupten können, stellen diese Tang- und Algengürtel solange ein nicht verwertbares Nährstoffkapital dar, bis sich ein neuer Strandwall vorgelagert hat und hierdurch die Wasserbewegung vor der alten Küstenzone abgeschwächt wurde. Dann kann diesen organischen Ablagerungen mariner Herkunft eine doppelte Bedeutung zukommen, denn einmal können durch Mineralisationsvorgänge wichtige Nährstoffe freigesetzt werden und zum anderen kann das Rückhaltevermögen der Sande für das Regenwasser und für die von Auswaschung bedrohten Nährstoffe erhöht werden.

2.32 Die Boddenbinsenweide

Auf den älteren Strandwällen beträgt der Höhenunterschied zwischen den Strandwallkuppen und der Uferzone, wie bereits erwähnt, nur etwa 0,6 m. Dementsprechend ist auch die Grenze zwischen den jeweiligen Pflanzengesellschaften nicht so scharf und die einzelnen Varianten der Boddenbinsenweide sind sehr unterschiedlich stark vertreten. Es wurde deshalb darauf verzichtet, für den Bereich des Rotschwingelrasens eine *Achillea millefolium*-reiche und eine *Potentilla anserina*-reiche Variante getrennt zu untersuchen, wie es für den Strandwall II aufgrund der auffallend unterschiedlichen Höhenlage und der

deutlich verschiedenen Artenzusammensetzung als sinnvoll angesehen wurde. Sowohl auf den Flächen des älteren wie des jüngeren Strandwalles hat sich *Festuca rubra* in den unbeweideten Dauerquadraten stark vermehrt und hat vor allem durch Beweidung geförderte Arten wie *Plantago coronoporus, Trifolium fragiferum, Leontodon autumnale* und *Potentilla anserina* verdrängt.

Die organische Auflageschicht des Bodens beträgt auf dem Strandwall I 15 bis 20 cm. Auf Strandwall II hat die obere Variante des Rotschwingelrasens mit ca. 5 cm Humusauflage das gleiche Bodenprofil wie die Strandwallkuppe. Auch finden sich hier noch einige Arten des Loliumtrittrasens, wie *Honckenya peploides, Armeria maritima, Lolium perenne* und *Bromus mollis*. In der unteren *Potentilla anserina*-reichen Variante ist die organische Auflageschicht zwischen 10 und 15 cm stark, woran sich ein auffallend feiner und humusarmer Sand anschließt.

2.33 Der Andelrasen

Die direkte Uferzone wird auf den beweideten Teil des Graswarders von einer meist nur wenige dm breiten *Puccinellia maritima*-Gesellschaft gebildet, die in einer wenig scharfen Grenze in die untere Boddenbinsenweide mit *Plantago maritima, Triglochin maritimum, Glaux maritima* und *Juncus geradii* übergeht (Abb. 8). Diese Pflanzengesellschaft, die sich im ständig staunassen Bereich der Uferzone gebildet hat, zeigt keine wesentlichen Unterschiede auf den Probeflächen der verschieden alten Strandwälle, was als Hinweis auf die dominierende Rolle des Ostseewassers bei der Ausbildung dieser Vegetationseinheit angesehen werden kann. Die Dicke der Torfschicht reicht dagegen von 5 cm auf Strandwall III über 20 bis 40 cm auf Strandwall II (Abb. 9) bis zu 80 cm auf Strandwall I (Abb. 10). Hierbei weisen Zonen mit einer auffallenden Bänderung auf einen zeitweiligen Wechsel zwischen Phasen von Pflanzenwachstum und Übersandung hin.

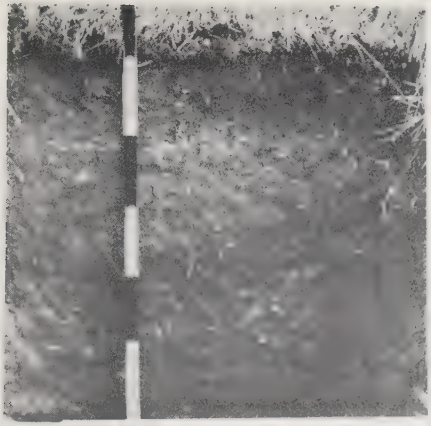

Abb. 5: Bodenprofil von Probefläche 1
(Eine Maßeinheit = 10 cm)

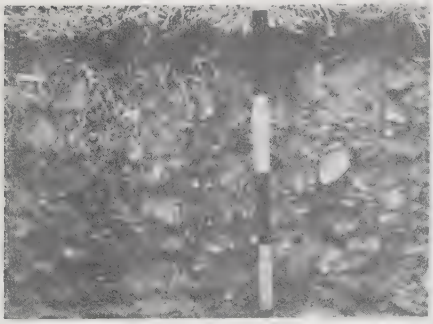

Abb. 6: Bodenprofil von Probefläche 11
(Eine Maßeinheit = 10 cm)

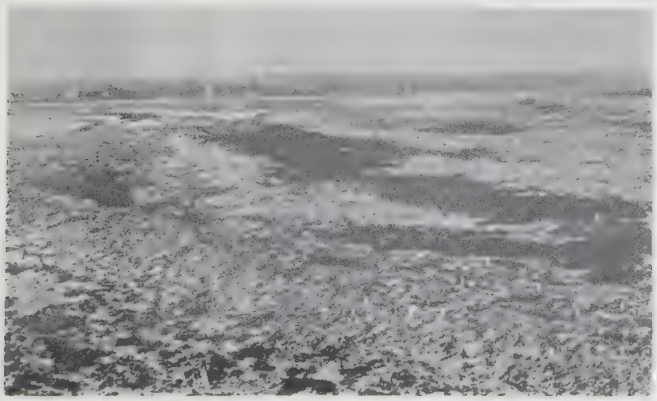

Abb. 7: Spülsaumgürtel, die auf Strandwall III über den Normal-Hochwasserstand verlagert worden sind

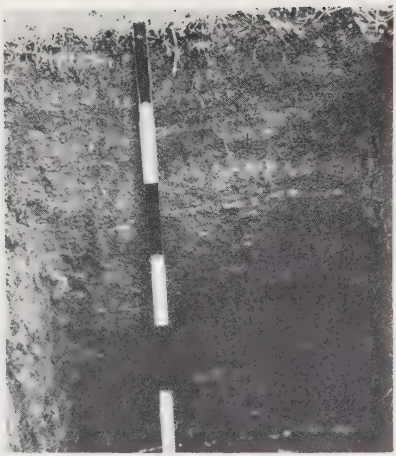

Abb. 8: Bodenprofil von Probefläche 3
(eine Maßeinheit = 10 cm)

Abb. 9: Bodenprofil von Probefläche 14
(Eine Maßeinheit = 10 cm)

Abb. 10: Für die Boddenküste des Graswarders typischer Andelrasen

3. PROBENENTNAHME UND ANALYSENMETHODEN

3.1 Die Entnahme der Bodenproben und ihre Verarbeitung

Bei dem im Untersuchungsgebiet bearbeiteten oberen Bodenhorizonten handelt es sich auf den Strandwallkuppen sowohl unter dem *Armeria maritima*-reichen Trittrasen von Strandwall II als auch unter dem Lolium-Trittrasen bzw. dem Queckenbestand von Strandwall I um Humusauflagen. Der im Bereich der Boddenbinsenweiden entstandene Oberboden entspricht dagegen einem Niedermoortorf, der sich unter dem Einfluß des steigenden Wasserspiegels und der damit verbundenen vegetativen Verlandung gebildet hat. Beide Bodentypen boten bei der Probeentnahme die gleichen Schwierigkeiten. Es erwies sich als unmöglich, eine Trennung von lebender und abgestorbener Wurzelsubstanz vorzunehmen, selbst wenn dabei eine völlige Zerstörung der Bodenstruktur in Kauf genommen wurde. Bei der Freilandbebrütung (siehe Abschnitt 4.34) wurde deshalb auf eine Beseitigung der Feinwurzeln verzichtet und das Bodenmaterial in Form von "Strukturproben" gelagert. Die Auswirkungen des Wurzelgehaltes sowie der Bodenstruktur auf die Stickstoffmineralisation im Brutversuch wird ausführlich von GERLACH (1973) diskutiert.

In jeder Probefläche wurden mit dem Stechzylinder (100 ccm Inhalt, 4 cm Höhe) rund 1 200 ccm Boden entnommen. Hiervon wurde eine Mischprobe hergestellt, von der die eine Hälfte in einem Polyäthylen-Beutel gefüllt (s. RUNGE 1970) und in dem Entnahmehorizont des jeweiligen Standorts für 6 Wochen gelagert wurde. Die andere Hälfte wurde zur Bestimmung der aktuellen pH-, Wasser- und Mineralstickstoffwerte nach Göttingen gebracht und etwa 24 Stunden nach der Entnahme verarbeitet. Für die Probeflächen des Andelrasens hat sich die Lagerung der Proben in Beuteln als nicht sehr günstig erwiesen. Da die Polyäthylenfolie für gasförmiges und flüssiges Wasser undurchlässig ist, wird der Feuchtigkeitszustand des Bodens zum Entnahmezeitpunkt während der 6-wöchigen Lagerungsdauer konstant gehalten. Gerät der Bodenhorizont, in dem die Probe lagert, durch ansteigendes Grundwasser in einen Zustand der Wassersättigung, so ist die Probe durch das sie umgebende Wasser weitgehend von einem Gasaustausch mit der Umgebung abgeschlossen. Es herrschen dann extrem anaerobe Verhältnisse,die sich oft nach 6-wöchiger Lagerung in starken Fäulniserscheinungen der Proben widerspiegeln. Somit dürften die Verhältnisse in dem Proben-

material noch erheblich schlechter als unter den natürlichen, bereits meist durch Sauerstoffmangel gekennzeichneten Verhältnissen dieser Standorte sein, in denen sowohl durch den Gasaustausch der lebenden Pflanzenwurzeln als auch durch periodisch auftretende Niedrigwasserstände gelegentlich günstigere Durchlüftungsbedingungen im Oberboden gegeben sind. Trotzdem wurden die Probeflächen des Andelrasens in den Freilandversuch mit einbezogen, um zumindestens eine Vorstellung von der Größenordnung der Mineralstickstoff-Freisetzung zu bekommen. Außerdem erschien es bei der Versuchsdauer von zwei Vegetationsperioden als wahrscheinlich, daß bei der Probelagerung außer den meist staunassen auch gelegentlich Bodenverhältnisse mit einer geringeren Wassersättigung vorgefunden würden, wodurch ein Einblick in die Mineralisationsleistung dieser Böden unter günstigeren Durchlüftungsbedingungen ermöglicht würde.

3.2 Bestimmung des Gehaltes an fester Substanz pro Volumeneinheit und des Porenvolumens

Zur Bestimmung des Gehalts an fester Substanz wurde der Inhalt von Stechzylindern (100 ccm Inhalt, 4 cm Höhe) im bodenfrischen Zustand durch ein 4 mm Sieb gerieben und anschließend bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Hierbei ergaben sich bei Parallelproben zum Teil erhebliche Unterschiede, wie aus Tabelle 2 ersichtlich ist. Besonders bei den organischen Auflagehorizonten machte sich der unterschiedliche Gehalt an Sand bzw. die oft nur geringe Dicke der Humusauflage durch große Abweichungen von den Durchschnittswerten bemerkbar. Die Gehalte an fester Substanz in den tieferen, mehr sandigen Horizonten stimmten dagegen besser überein. Das gleiche gilt für die wassernahen Probeflächen,wo bei den kontinuierlich gewachsenen Torfschichten sowohl in den oberen als auch in den tiefer gelegenen Horizonten wesentlich geringere Abweichungen zu beobachten waren.

Das Porenvolumen der Böden wurde nach der von STEUBING (1965) beschriebenen Xylol-Methode bestimmt. Hiernach errechnet sich das Porenvolumen V_p des Bodens nach der Formel $V_p = 100 - \frac{Vt \cdot 100}{s}$, wobei Vt = Volumen des trockenen Bodens und s = spezifisches Gewicht des Bodens bestimmt werden müssen.

Tab. 2: Die Streuung der Gehalte an fester Substanz in einigen typischen Böden und deren Horizonten

Probefläche (Horizont)	n	$\bar{x}$ (gr)	s	s %
5 0 - 5 cm	15	25,3	4,6	18,2
5 -10 cm	8	99,1	15,6	15,7
7 0 - 5 cm	19	22,0	1,3	5,9
5 -10 cm	8	37,1	2,6	7,0
10 -15 cm	5	38,8	0,9	2,3
11 0 - 5 cm	24	37,0	16,0	43,2
19 0 - 5 cm	16	29,1	6,9	23,7
20 0 - 5 cm	16	19,1	1,3	6,8

3.3 Bestimmung des Gesamtstickstoffgehaltes

Nach dem Trocknen und Mahlen des Bodens wurde der Gesamtstickstoff nach KJELDAHL bestimmt, indem der Boden mit einem Selenreaktionsgemisch aufgeschlossen und die Aufschlußlösung in 2%ige Borsäure destilliert wurde (BREMNER 1960, HOFFMANN 1963). Mit 0,01 n Schwefelsäure wurde das in der Vorlage enthaltene Ammonium-Borat titrimetrisch bestimmt. Eine ausführliche Darstellung dieser Methode und der hierbei möglichen Analysenfehler gibt SCHMIDT (1970).

3.4 Bestimmung des organisch gebundenen Kohlenstoffs

Durch trockene Verbrennung der ebenso wie für die Gesamtstickstoffbestimmung vorbereiteten Bodenproben im Sauerstoffstrom bei 1 000° C wird der Kohlenstoff mit dem Gasanalysegerät von Woesthoff bestimmt. Der bei dieser Methode außerdem entweichende anorganische Kohlenstoff spielt nach den Untersuchungen

von SCHMIDT (1970) nur in skelettreichen Mullrendzinen mit einem Carbonatgehalt von mehr als 1 % eine nennenswerte Rolle und kann bei den auf dem Graswarder untersuchten Rohhumus-, Torf- und Sandhorizonten außer Acht gelassen werden.

3.5 Bestimmung der Chloridkonzentration

Die Bestimmung der Chloridkonzentration in der Bodenlösung wurde je nach dem zu erwarteten Salzgehalt mit 1 g bis 5 g staubfein gemahlenem Boden durchgeführt, indem der Boden mit 100 ml Aqua dest. im Becherglas aufgeschwemmt und ca. 10 Minuten stehengelassen wurde. Im Anschluß daran wurde die Probe mit einer Einstabmeßkette (Silberelektrode) der Firma Schott (Mainz) gegen 0,1 n $AgNO_3$ titriert, wobei sich die Probe auf einem Magnetrührer befand. Der Chloridgehalt wurde dann mittels der bekannten Wassergehalte des Bodens in Konzentration der Bodenlösung umgerechnet. Weitere Hinweise zu dieser Methode und deren Fehlerquellen gibt SCHMEISKY (1974).

3.6 pH-Messung

Die pH-Messungen wurden zusammen mit den anderen bodenanalytischen Untersuchungen im 3-wöchigen Rhythmus vorgenommen. Hierbei wurde das gesiebte bodenfrische Material mit destilliertem Wasser zu einem Brei verrührt und nach 24 Stunden mit einer Einstabglaselektrode (Ingold, Typ 405) unter ständigem Rühren gemessen.

3.7 Die Mineralstickstoffbestimmung

Nach der beschriebenen Entnahme und Aufbereitung des Bodens (3.1) wurde die Weiterverarbeitung der frisch entnommenen und der bebrüteten Proben gleichermaßen gehandhabt. Dem erwarteten N_{min}-Gehalt entsprechend wurden 2 oder 5 g Frischboden in einen 300 ml Erlenmeyer-Enghalskolben eingewogen und mit 40 ml 1%iger $KAL(SO_4)_2$-Lösung 30 Minuten "über Kopf" geschüttelt. Anschließend wurden die Proben durch Faltenfilter gegeben und das Filtrat durch Zugabe von

MgO alkalisch gemacht, so daß der als Ammoniak freiwerdende Mineralstickstoff mit Wasserdampf abdestilliert und in verdünnter Borsäurelösung aufgefangen werden konnte. Danach wurde durch Zugabe von Devarda's Reagenz in dieselbe Probe auch das verbliebene Nitrit bzw. Nitrat zu NH_3 reduziert und ebenfalls in einer zweiten Vorlage mit Borsäurelösung aufgefangen. Durch Titration mit 0,02 n Schwefelsäure konnte der Stickstoffgehalt bestimmt werden. Dieser in seinen wesentlichen Reaktionsschritten kurz skizzierte Analysengang folgt der Methodik von BREMNER & EDWARDS (1965) sowie BREMNER & KEENEY (1966) und ist von GERLACH (1973) in Bezug auf die Probeentnahme und Lagerungsweise sowie deren Auswirkungen auf die Analyse ausführlich untersucht und diskutiert worden.

Der Mineralstickstoff-Gehalt der Wasserproben wurde photometrisch bestimmt. Ein mit einem Drucker gekoppeltes Photometer (Spectronic 100 der Firma Bausch & Lomb) wurde zusammen mit dem "Automatic Sample Processor" der Firma Baird & Tatlock zur vollautomatischen Dosierung der Analyse-Reagenzien sowie zu der sich anschließenden photometrischen Messung benutzt.

Ammonium-Stickstoff wurde hierbei nach einer bewährten Methode bestimmt, die durch die Indophenolblaureaktion charakterisiert wird (näheres siehe GERLACH 1973).
Die Methode der Nitrat-Stickstoff-Bestimmung befand sich dagegen noch im Stadium der Erprobung, wobei nach dem Prinzip der Griess-Illosvay-Reaktion durch den Zusatz von Zink-Pulver eine Reduktion von Nitrat zu Nitrit im alkalischen Millieu herbeigeführt wird (BLACK 1965). Der Nitrit-Gehalt der Proben wurde dann photometrisch bestimmt.

Eine methoden-kritische Gegenüberstellung der oben genannten mit weiteren am Geobotanischen Institut der Universität Göttingen angewandten Methoden zur Mineralstickstoffbestimmung ist in Kürze von GERLACH geplant.

4. ÖKOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

4.1 Die Wasserversorgung der untersuchten Pflanzengesellschaften

In Bezug auf die Bodenfeuchtigkeit herrschen unter den Pflanzengesellschaften des Graswarders auf kleinstem Raum extreme Unterschiede. Für die Pflanzen des Andelrasens und der feuchten Variante der Boddenbinsenweide stellt die Wasserversorgung kein Mangelproblem dar, da hier das Grundwasser meist so dicht unter der Vegetationsdecke steht, daß auch im Hochsommer ein Bodenwassergehalt von 30 - 50 Vol.-% nur selten unterschritten wird. Das Vermögen, durch Staunässe häufig auftretenden Sauerstoffmangel zu ertragen, dürfte die Konkurrenzkraft der einzelnen Arten dieser Standorte stärker bestimmen, denn im Frühjahr und im Winterhalbjahr sowie bei gelegentlichen Sommerhochwasserständen sind Wassergehalte zwischen 70 und 90 Vol.-% keine Seltenheit (Abb. 11).

Ganz andere Verhältnisse herrschen auf den Strandwallkuppen, besonders der jüngeren und bis zu 1,60 m über dem Grundwasser herausragenden Strandwälle. Hier läßt sich in der oberen, stark mit Humus angereicherten Bodenschicht nur ein Wassergehalt von unter 10 % über das ganze Sommerhalbjahr von Mai bis September feststellen. Dieser Wassergehalt liegt damit im unteren Bereich der von HORST (1964) angegebenen "Verarmungsgrenze", die er für humushaltige Horizonte sandiger Heideböden in den Bereich von 10 bis 20 Vol.-% legt. Auch zu Beginn und am Ende der beiden Untersuchungsjahre jeweils im März und Oktober stieg die Bodenfeuchte kaum über 20 Vol.-% an. In den tieferen Horizonten waren meist noch geringere Wasser-Volumen-%-Werte festzustellen (Tab. 3).

Bei der Gegenüberstellung der unterschiedlich alten Strandwallkuppen zeigt sich, daß auf Strandwall II allein die organische Auflageschicht gegenüber den tieferen Sandhorizonten über eine nennenswerte Fähigkeit zur Wasserhaltung verfügt. Auf dem Strandwall I dagegen liegen die größeren Wassergehalte in 5 bis 10 cm Tiefe, was in Zusammenhang mit den großen Verdunstungsverlusten der oberflächennahen Schicht gesehen werden muß, während die humushaltigen tieferen Sandschichten dieses Strandwalles bereits einen erheblichen Gehalt an Wasser speichern können.

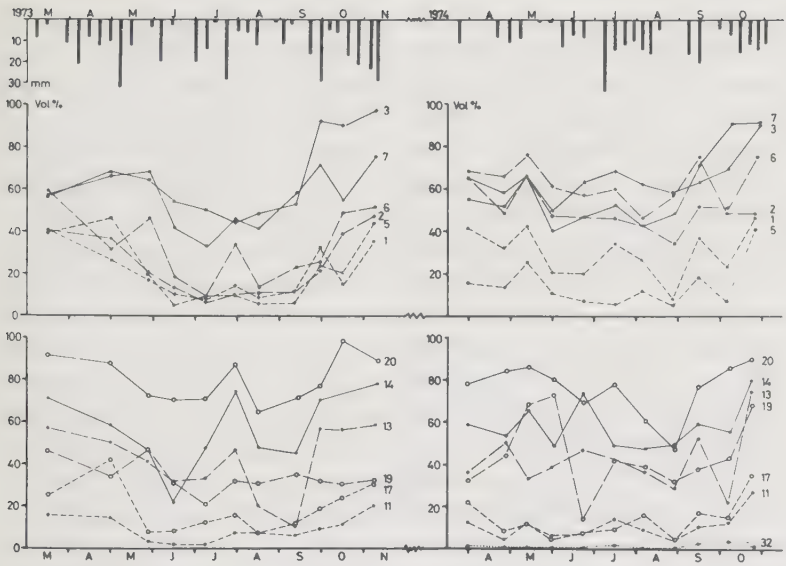

Abb. 11: Jahresgänge der Bodenfeuchtigkeit in den untersuchten Probeflächen für den obersten Entnahmehorizont und Angabe der wöchentlichen Niederschläge während des Untersuchungszeitraumes

Tab. 3: Vertikale Abstufung der Bodenfeuchtigkeit (Vol.-% H_2O)

Probefläche		30. 3. 74	24. 6. 74	16. 9. 74
1	0 - 5 cm	41,9	21,0	37,2
	5 - 10 cm	54,0	22,1	52,6
	10 - 15 cm	37,4	23,6	37,4
	25 - 30 cm	-	-	7,8
11	0 - 5 cm	12,8	6,4	10,2
	5 - 10 cm	11,3	2,6	1,1
	10 - 15 cm	4,5	-	-
	25 - 30 cm	-	-	0,8

In Bezug auf ihr Wasserhaltevermögen ist für die Böden also eine deutliche Verbesserung mit zunehmenden Strandwallalter zu beobachten. Hierfür dürften zwei Faktoren den Ausschlag geben. Wie schon erwähnt, sind die älteren Strandwälle auffallend niedriger und somit dem Grundwasser näher. Dies führt zu einer besseren Versorgung auch der höher gelegenen Pflanzengesellschaften durch den kapillaren Wasseranstieg, der nach SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (1970) wegen der großen Poren von Sandböden sehr schnell, aber nicht über große Strecken vor sich geht. In diesem Zusammenhang erscheint es erwähnenswert, daß sich auch die Grundwasserschwankungen in den sandigen Bereichen des Graswarders sehr direkt bemerkbar machen, wie SCHMEISKY (1974) nachweisen konnte.

Die größere Bedeutung dürfte jedoch der mit zunehmenden Alter der Strandwälle anwachsende Humusgehalt in den oberen Sandschichten haben, womit eine größere Wasserhaltekapazität gegenüber den lockeren Sanden der jüngsten Strandwälle gegeben ist. Auf die Bedeutung der Humusanreicherung in Sandböden für den Wasserhaushalt weist auch BÄTJER (1968) hin. Deutlich tritt diese bessere Fähigkeit, das Niederschlagswasser im Oberboden zu halten, bei einem Vergleich der drei Strandwallkuppen unter Berücksichtigung der gefallenen Niederschläge hervor. So konnte am 25. 8. 1974 unter dem Armeria-Trittrasen von Strandwall II ein Wassergehalt von 5 Vol.-% und unter der Agropyron-Gesellschaft von Strandwall I ein Wassergehalt von 9 Vol.-% festgestellt werden. Bis zur nächsten Probeentnahme am 15. 9. 1974 stieg der Bodenwassergehalt bei einer Niederschlagsmenge von 36 mm in der obersten Bodenschicht von Probefläche 11 auf 10,0 Vol.-%. Für Fläche 1 konnte dagegen ein Anstieg der Bodenfeuchte auf 37,0 Vol.-% beobachtet werden. Auf dem jüngsten, sehr lückenhaft besiedelten Strandwall III (Probefläche 32) konnten während der ganzen Untersuchungsperioden überhaupt keine nennenswerten Wassermengen festgestellt werden (Abb. 11).

Ob im Sommerhalbjahr auf den meist sehr trockenen Strandwallkuppen II und III der Nebelniederschlag zumindest für die Lebensbedingungen der Mikroorganismen eine begünstigende Rolle spielt, kann nicht abschließend beurteilt werden. Zwar gibt BÄTJER (1968) eine gegenüber dem flachen Küstenhinterland um das 3 bis 5-fachgesteigerte Nebelniederschlagsmenge im unmittelbaren Küstenbereich von 25 bis 50 mm/Jahr an; aber gerade in extremen Trockenperioden kann auch nur mit einer äußerst geringen Nebelbildung gerechnet werden.

4.2 Die Bodenacidität

Für die standörtliche Beurteilung von Pflanzengesellschaften wird auch der pH-Wert der Böden als aussagekräftiges Kriterium herangezogen. Hierbei sollte aber, wie WALTER (1927) betont, nicht übersehen werden, daß die Bodenacidität vornehmlich nicht als Ursache sondern als Indiz für die verschiedensten bodenbiologischen Prozesse und Umwelteinflüsse zu betrachten ist. So ist auf grundwasserfreien Standorten die Bodenacidität im wesentlichen von der Menge sowie der jahreszeitlichen Verteilung des Niederschlags, der Bodenbeschaffenheit und der vom Pflanzenbestand überwiegend gebildeten Streu abhängig, da hierdurch eine Anreicherung von organischen Säuren und eine durch Auswaschung verursachte Basenverarmung hervorgerufen werden kann, was zu einer erheblichen Beeinflussung der chemisch-physikalischen Bedingungen von Böden führt (ELLENBERG 1958).

Im Hinblick auf die jahreszeitlichen Schwankungen der pH-Werte hebt sich bei einem Vergleich der untersuchten Pflanzengesellschaften der Armeria-Trittrasen von Strandwall II eindeutig von den übrigen Standorten ab, ebenso wie er unter den von SCHMEISKY (1974) untersuchten Gesellschaften des Graswarders in Bezug auf die geringen Salzgehalte im Jahresgang eine Sonderstellung einnimmt. Der nach der Klassifizierung von SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL als stark sauer eingestufte pH-Bereich von 4,0 bis 4,9 galt hier in beiden Untersuchungsjahren mit nur geringen Abweichungen (Abb. 14 u. 15), so daß sich ein Jahresdurchschnittswert von 4,9 für die unbeweideten und 4,5 pH-Einheiten für die beweideten Probeflächen ergab. Von geringen Abweichungen abgesehen, die auf die kleinräumig unterschiedlich ausgebildete Rohhumusdecke dieser Gesellschaft und eventuell dem Einfluß von Vogelexkrementen zugeschrieben werden muß, zeigt sich eine von ELLENBERG (1958) beschriebene Jahresperiodik mit niedrigsten H^+-Ionen-Konzentrationen im Frühjahr und Herbst und einem Anstieg der Bodenacidität in den Sommermonaten, in denen eine verstärkte Aktivität des Bodenlebens und die größte Produktivität der Pflanzen angenommen werden muß (Abb. 12, 13, 14 u. 15). In allen übrigen Pflanzengesellschaften war ein durchschnittlich mäßig bis schwach saurer pH-Bereich zwischen 5,5 und 6,5 in den obersten Bodenhorizonten für den gesamten Untersuchungszeitraum festzustellen. Für die Standorte, die periodischen Überflutungen ausgesetzt sind,

muß die Basenzufuhr durch das Ostseewasser (mit einem pH-Wert zwischen 7,6 und 8,2) als ausschlaggebender Faktor angenommen werden. Eine entsprechende Wirkung des Ostseewassers auf häufig überflutete saure Wiesen in Finnland erwähnt schon BRENNER (1931).

Für die außerhalb der Hochwasserlinie liegende Kuppe des Strandwalles III dürfte das geringe Alter sowie die geringe Anreicherung von sauren Humifizierungsprodukten für die schwach-sauer (6,5) bis schwach alkalisch (7,7) reichenden Jahresschwankungen des pH-Wertes verantwortlich sein. Die pH-Schwankungen innerhalb der einzelnen Gesellschaften betrugen über den gesamten Untersuchungszeitraum zwischen 1,0 und 1,5 pH-Einheiten und liegen damit in dem von anderen Autoren (ELLENBERG 1958, LACHE 1974, LÖTSCHERT & ULLRICH 1961, LÖTSCHERT & HORST 1962) angegebenen Bereich. Auch die Betrachtung der vertikalen pH-Wert-Abstufungen in den einzelnen Bodenhorizonten unterstreicht den Einfluß des Ostseewassers auf die jeweiligen Aciditätsbedingungen. So unterscheiden sich die Horizonte des meist im Grundwasserbereich liegenden Andelrasensund der unteren Boddenbinsenweide von Strandwall II sowie aller Standorte von Strandwall I nur unwesentlich voneinander. Dagegen läßt sich für die Kuppe von Strandwall II eine eindeutige Aciditätsverminderung in den Horizonten unter der organischen Auflageschicht beobachten, was in Verbindung mit der schwachen Humusbildung und den gleichzeitig geringen biologischen Aktivitäten in diesen Sandschichten gesehen werden muß.

Tab. 4: Vertikale Abstufung der pH-Werte in den untersuchten Pflanzengesellschaften (Jahresmittel)

Probefläche	1	8	9	10	13	19
Horizont						
0 - 5 cm	4,5	6,7	6,5	6,1	6,0	5,8
5 - 10 cm	4,7	7,0	6,4	6,0	5,6	5,5
10 - 15 cm	7,1	-	6,4	5,9	5,5	5,6
15 - 20 cm	-	7,5	6,6	-	6,4	5,6

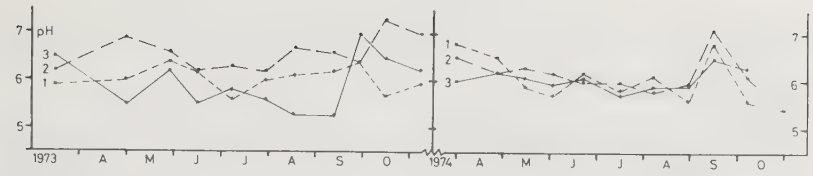

Abb. 12

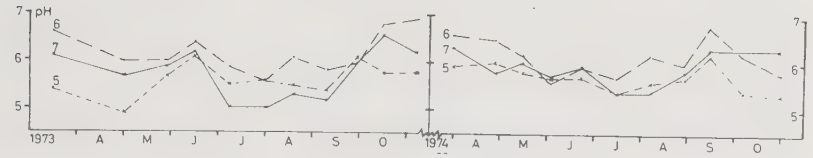

Abb. 13

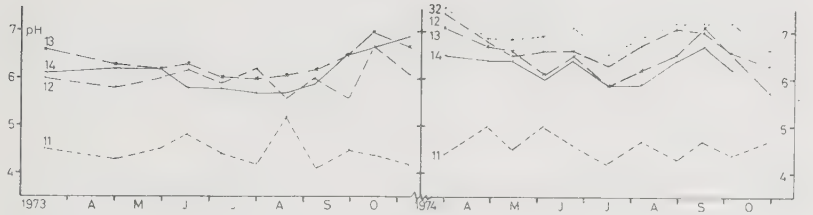

Abb. 14

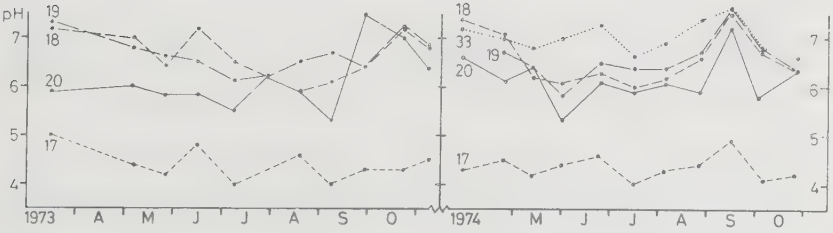

Abb. 15

Abb. 12 - 15: Jahresgänge der Bodenreaktion in den obersten Entnahmehorizonten der untersuchten Pflanzengesellschaften

4.3 Die Mineralstickstoffversorgung der Pflanzengesellschaften des Graswarders

4.31 Grundlagen

Die höheren Pflanzen sind zum Aufbau ihrer artspezifischen Eiweißverbindungen auf die Aufnahme von mineralischem Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium angewiesen. Sowohl in terrestrischen (ELLENBERG 1964) als auch in marinen (RHEINHEIMER 1967 u. 1973) Ökosystemen nimmt dabei der Prozess der Mineralisierung von organischem stickstoffreichen Material eine zentrale Stellung ein. Auch die Mineralisierung anderer wichtiger Nährelemente, wie z. B. Phosphor, Alkali- und Erdalkalimetalle, aus abgestorbener organischer Substanz wird in entscheidendem Maße von dem bodenbiologischen Gesamtzustand beeinflußt, wie er sich in Bodenstruktur, Wasserhaushalt, Humusgehalt und Säuren-Basen-Verhältnis widerspiegelt. Daher sollte es möglich sein, durch die Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung die allgemeine Versorgungssituation mit Nährelementen für den jeweiligen Standort zu charakterisieren. Zahlreiche Arbeiten, in denen die Stickstoffmineralisation verschiedener Wald-, Wiesen- und Heidegesellschaften untersucht wurde, liegen bereits vor (z. B. DIERSCHKE 1974, ELLENBERG 1964, ERHARDT 1961, LACHE 1974, LEÓN 1968, MEYER 1957, RUNGE 1965, WILLIAMS 1968, ZÖTTL 1960 b). Bei manchen Untersuchungen stand die Verbesserung der Methoden und die Diskussion ihrer Aussagekraft über die tatsächlichen Stickstoffumsätze in den verschiedenen Ökosystemen im Vordergrund (ERHARDT 1961, GERLACH 1973, RUNGE 1970, ZÖTTL 1958, 1960 a, b, 1965). Als Standartmethode sind hieraus sowohl die 6-wöchige Bebrütung von Bodenproben unter konstanten Bedingungen im Brutschrank als auch die Freilandbebrütung in den entsprechenden Entnahmehorizonten hervorgegangen.

Zur Bestimmung der Stickstoffmineralisation in den Salzrasengesellschaften des Graswarders wurde sowohl der Brutschrankversuch als auch die Freilandbebrütung angewandt. Es wurde jeweils der aktuelle Gehalt an Mineralstickstoff sowie dessen Zunahme nach 6-wöchiger Bebrütung bestimmt. Hierbei wurden Ammonium (NH_4-N) und Nitrat (NO_3-N) getrennt nachgewiesen. Deren Summe ergibt den Mineralstickstoff (im folgenden als N_{min} abgekürzt).

Die Ergebnisse der Laborbebrütung wurden auf Trockenboden (g) bezogen und in ppm N angegeben. Für die Freilandbebrütung wurden die N_{min}-Gehalte auf das Bodenvolumen umgerechnet, so daß eine flächenbezogene Angabe in kg N/ha möglich war.

4.32 Die im Brutversuch ermittelte Stickstoffmineralisation

4.321 Versuchsbedingungen

Abweichend von den Bedingungen im Freiland ist beim Brutversuch die Temperatur konstant. Nach ZÖTTL (1960) wurde eine Bebrütungstemperatur von 20° C gewählt, um keinen zu großen Unterschied zu den am Standort herrschenden Bedingungen herzustellen. Um den jeweiligen Wasserverhältnissen im Boden der einzelnen Pflanzengesellschaften gerecht zu werden, wurde auf eine Gleichstellung der Wassergehalte verzichtet. Alle Proben wurden vielmehr in dem Feuchtezustand belassen, wie er sich bei der Probenahme ergab (MEYER 1957). Zur Entnahme der Bebrütungsproben wurde deshalb ein Zeitpunkt gewählt, bei dem die Bodenfeuchtigkeit weder durch eine Trockenperiode noch durch außerordentliche Regenfälle oder Hochwasser wesentlich von den im Jahresgang ermittelten Durchschnittswerten abwich. Es wurden für jede Probefläche Mischproben von ca. 500 g hergestellt, die durch ein 4 mm Sieb gerieben und dabei weitgehend von Wurzeln befreit wurden. Das derart homogenisierte Bodenmaterial wurde nach der Bestimmung des N_{min}-Gehaltes in Polyäthylen-Beuteln gelagert. Nach 1, 3, 6, 9 und 15 Wochen Bebrütungsdauer wurde der N_{min}-Gehalt erneut bestimmt, um einen Eindruck von dem zeitlichen Verlauf der N_{min}-Anreicherung zu bekommen. Während der Versuchsdauer wurde der Wassergehalt der Proben kontrolliert und tunlichst konstant gehalten. Nach Ende der Bebrütung wurde an jeder Probe eine Bestimmung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff, an Gesamt-Stickstoff, an Chlorid sowie des pH-Wertes vorgenommen.

4.322 Ergebnisse

Ein Vergleich der N_{min}-Anreicherung nach 15-wöchiger Bebrütungsdauer in den Böden der drei verschieden alten Strandwälle zeigt deutlich, daß die Böden der Strandwallkuppen mit zunehmendem Entwicklungsalter eine größere Kapazität zur N_{min}-Nachlieferung erlangen (Abb. 16). Dies ist teilweise eine Folge des geringeren spezifischen Gewichts der zunehmend humosen Bodenproben, darf aber außerdem mit den unterschiedlichen Nährstoffvorräten der einzelnen Strandwälle in Verbindung gebracht werden. Der jüngste Strandwall (III) stellt mit seinen nahezu humusfreien Sanden (0,05 - 0,06 % N und 0,55 - 0,60 % C) ein ausgesprochenes Anfangsstadium der Bodenbildung dar, was auch in einer sehr offenen, wenig produktiven Pionier-Pflanzendecke zum Ausdruck kommt. Die geringe Stickstoffmineralisation läßt sich dementsprechend im wesentlichen auf den Mangel an mineralisierbarer, stickstoffhaltiger organischer Substanz zurückführen. Auch die Unterschiede in der Mineralisationskapazität der beiden anderen Strandwallkuppen spiegeln die unterschiedlichen Stickstoff- und Kohlenstoffvorräte wider (Tab. 5).

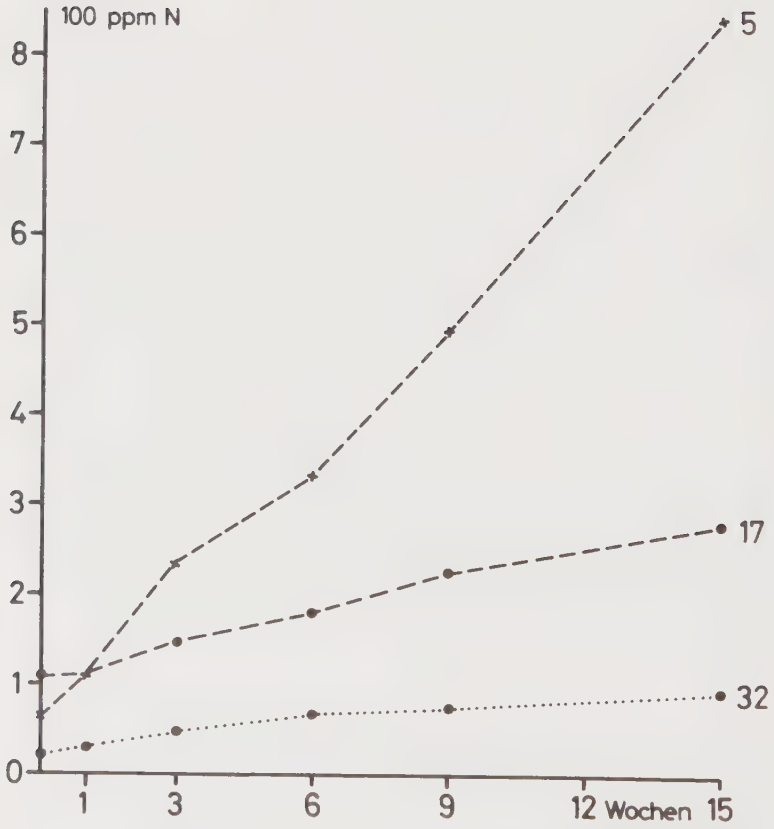

Abb. 16: Stickstoffmineralisation in den oberen Entnahmehorizonten (0 - 5 cm) der drei verschieden alten Strandwallkuppen während der Laborbebrütung

Tab. 5: Abstufung der N_{min}-Anreicherung nach 15 Wochen Bebrütung in Abhängigkeit von dem Gehalt an Gesamt-Stickstoff (N_{ges}) und an organischem Kohlenstoff (C_{org}), in Gewichtsprozent.

Strandwallkuppe	I	II	III
0 - 5 cm			
N_{ges} (%)	1,34	0,60	0,06
C_{org} (%)	24,67	7,50	0,55
N_{min} (15 Wochen)	766,1 ppm	183,1 ppm	72,3 ppm
5 - 10 cm			
N_{ges} (%)	0,89	0,18	0,05
C_{org} (%)	13,38	2,09	0,60
N_{min} (15 Wochen)	60,7 ppm	17,0 ppm	15,9 ppm

Ein Vergleich der grundwassernahen Probeflächen auf den drei Strandwällen weist auf abweichende Mineralisationsbedingungen hin. Die Kurven der Stickstoffanreicherung liegen enger beieinander und die nach 15 Wochen erreichten N_{min}-Werte sind insgesamt niedriger als auf den Strandwallkuppen (Abb. 17). Doch ähneln sich alle Kurven für den Andelrasen, sowohl was den zeitlichen Verlauf als auch die erreichten Gesamtmengen an mineralisiertem Stickstoff anbetrifft. Während für Probefläche 33 natürlich auch der geringe Nährstoffvorrat einen entscheidenden Begrenzungsfaktor darstellt, muß ganz allgemein die hohe Wassersättigung und damit der Sauerstoffmangel dieser Böden für die geringe Mineralisationsleistung verantwortlich gemacht werden. So läßt sich auch beim Vergleich der einzelnen Gesellschaften eines Strandwalles die Tendenz zu einer umso stärkeren Einschränkung der Stickstoffmineralisation beobachten, je näher die Gesellschaft der Uferzone und somit den verstärkten Einwirkungen des Ostseewassers ausgesetzt ist (Abb. 18 u. 19).

Auch wenn die tieferen Bodenhorizonte in die Betrachtung mit einbezogen werden, behält dies Ergebnis seine Gültigkeit. Die oberste Bodenschicht (0-5 cm) hat allerdings eine wesentlich größere Mineralisationsleistung. In besonderem Maße trifft das für die Böden zu, bei denen die organische Auflage nur sehr

schwach entwickelt ist und die Stickstoffmineralisation in den tieferen Sand- und Kiesschichten zu keinen nennenswerten N_{min}-Anreicherungen führt (Abb. 20). Ähnliche Verhältnisse fand auch LACHE (1974) für die von ihm untersuchten Böden von Heide- und Binnendünengesellschaften.

In Böden, die ständig dem Einfluß des Grundwassers ausgesetzt sind, ist die N_{min}-Anreicherung in den tieferen Horizonten kaum geringer als in den obersten Bodenschichten. Dies dürfte auf die außerordentlich großen N_{ges}- und C_{org}-Vorräte sowie auf die günstigen Bedingungen während der Brutschrank-Bebrütung zurückzuführen sein (Abb. 21). Durch die Aufbereitung des Bodenmaterials für den Brutversuch werden für diese Horizonte Bedingungen geschaffen, die wesentlich günstiger als die meist anaeroben Verhältnisse am natürlichen Standort sind.

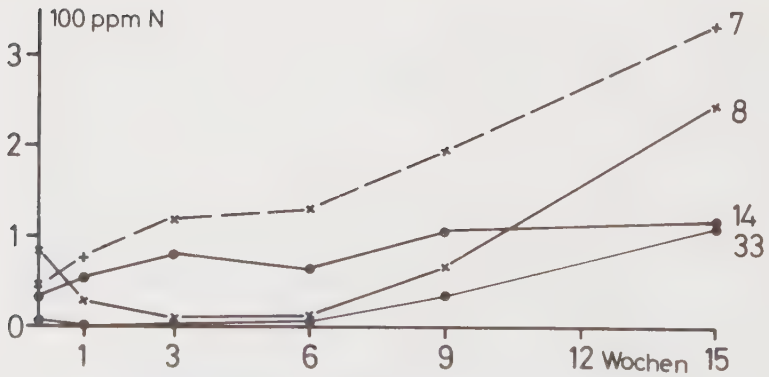

Abb. 17: Stickstoffmineralisation in den oberen Entnahmehorizonten (0-5 cm) der untersuchten Andelrasen-Gesellschaften während der Labor-Bebrütung

Probefläche 7 u. 8 = Strandwall I
Probefläche 14 = Strandwall II
Probefläche 33 = Strandwall III

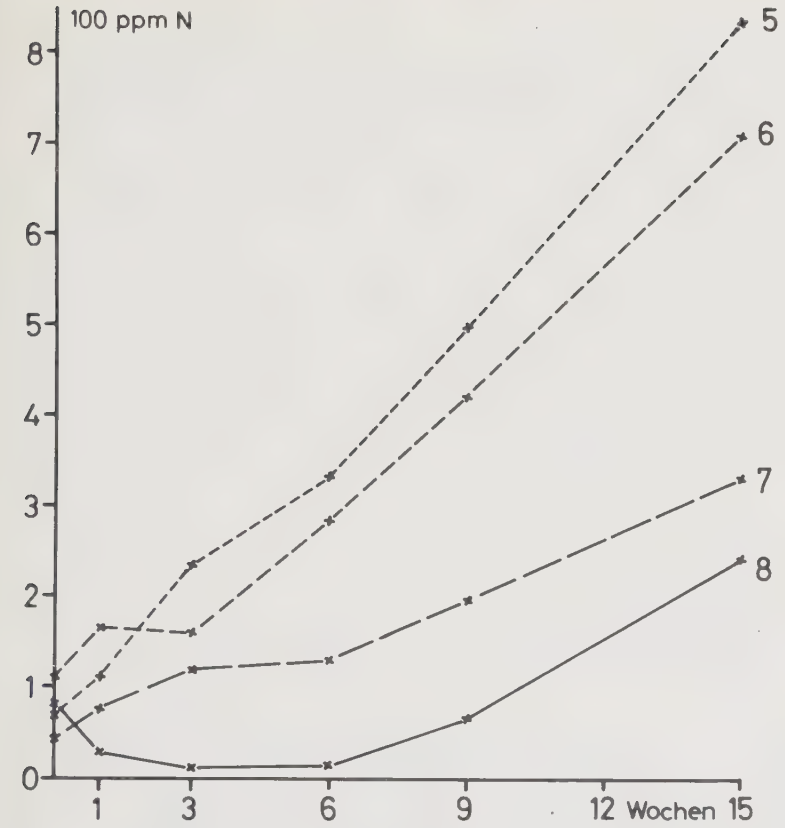

Abb. 18: Strandwall I

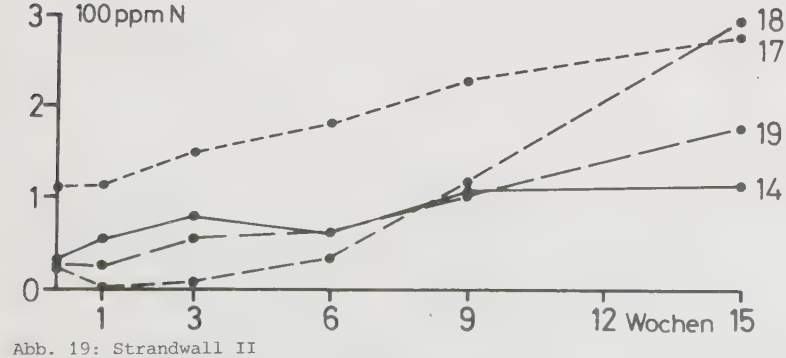

Abb. 19: Strandwall II

Abb. 18 u. 19: Abstufung der Stickstoffmineralisation in den einzelnen Gesellschaften der Strandwälle I und II

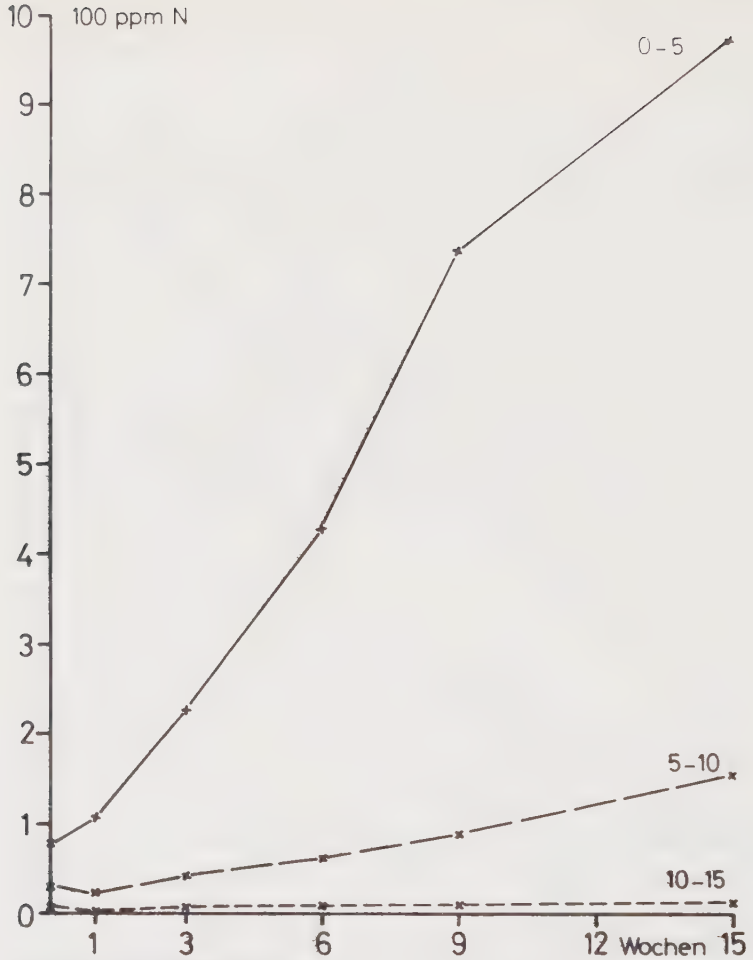

Abb. 20: Queckenrasen (Nr. 1)

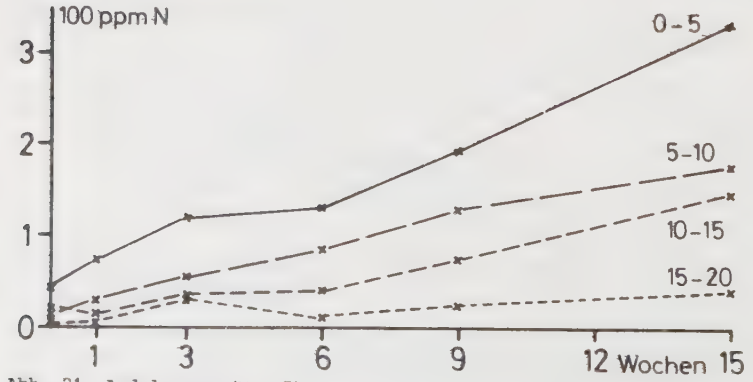

Abb. 21: Andelrasen (Nr. 7)

Abb. 20 u. 21: Abstufung der Stickstoffmineralisation in den verschiedenen Bodenhorizonten während der Labor-Bebrütung

Eine Klassifizierung der N_{min}-Anreicherungskurven, wie sie von ZÖTTEL (1960) durchgeführt wurde, ermöglicht eine bessere Beurteilung der einzelnen Standorte. Besonders wenn der Einfluß von standörtlichen Bedingungen und versuchsmethodischen Effekten gegeneinander abgeschätzt werden soll, kann die Unterscheidung verschiedener Kurventypen sinnvoll sein. Die untersuchten Bodenhorizonte lassen sich drei Typen von N_{min}-Anreicherungskurven zuordnen (Abb. 22):

1. Typ A gibt den Verlauf der N_{min}-Anreicherung in den humusreichen, aber nassen Böden der Uferzone einerseits sowie in den humusarmen Horizonten andererseits wieder. Hier ist ein leichter Anstieg des Gehalts an mineralisiertem Stickstoff in den ersten drei bis sechs Wochen zu beobachten. Dann bleibt der N_{min}-Gehalt bis zum Ende des Bebrütungszeitraumes nach 15 Wochen nahezu konstant, weil offenbar keine unter den Brutbedingungen mineralisierbaren N-Verbindungen mehr vorhanden sind.

2. Typ B umfaßt Böden, die über einen hohen Gehalt an mineralisierbarem Material verfügen und außerdem in der Natur wie im Brutschrank eine gute Sauerstoffversorgung haben. Dies ist z. B. bei den Wallkuppen von Strandwall I der Fall. Hier steigt die Kurve vom Beginn bis zum Ende des Bebrütungszeitraumes kontinuierlich an und erreicht schließlich hohe Werte.

3. Typ C entspricht der grundwassernahen Boddenbinsenweide. Nach einer anfänglichen Abnahme des N_{min}-Gehaltes steigt er bis zur 6. Woche leicht und nach der 9. Woche sprunghaft an, so daß nach 15 Wochen hier die höchsten Mineralisationsraten aller Böden erbracht werden. Ursachen für diesen Kurvenverlauf dürften neben der reichlich vorhandenen organischen Substanz die überaus günstigen Bedingungen während der Bebrütung sein. Nicht nur die unter natürlichen Bedingungen selten angetroffene Temperatur von 20° C , sondern auch die Auflockerung und Durchlüftung des Bodens durch das Sieben schaffen außerordentlich günstige Voraussetzungen für die Mikroorganismen. Diese vermehren sich daher rasch und verbrauchen allen verfügbaren Mineralstickstoff für ihren Eiweißaufbau. Dadurch erklärt sich die anfängliche Abnahme des N_{min}-Gehaltes. Im Anschluß daran beginnt eine zunehmend rasche N-Mineralisation. ZÖTTL (1960 a) und RUNGE (1970) haben auf diese Zusammenhänge hingewiesen, wobei festgestellt wurde, daß die Periode der verminderten N_{min}-Anreicherung zu Beginn der Be-

brütung umso ausgeprägter ist, je mehr sich die Standortverhältnisse von den Brutbedingungen unterscheiden. Für die Böden des Andelrasens müssen dementsprechend die ungünstigsten Mineralisationsbedingungen des Untersuchungsgebietes angenommen werden, weil selbst nach 15 Wochen Bebrütungsdauer kein bedeutsamer Anstieg des N_{min}-Gehaltes zu beobachten war.

Nicht nur in der absoluten Menge, sondern auch in der Art des angereicherten Mineralstickstoffs weicht der Andelrasen von den übrigen Pflanzengesellschaften des Graswarders ab. So liegt nach 15 Wochen Bebrütung in den Proben des Andelrasens ca. 80 % des mineralisierten Stickstoffs als Ammonium (NH_4-N) vor, während von allen anderen Böden nur einer (Probefläche 1) einen NH_4-Gehalt von 23 % aufweist, sonst aber meist ein Nitrat (NO_3-N)-Anteil von etwa 95 % vorliegt. Die für die Stickstoffmineralisation günstigen Bedingungen während des Bebrütungszeitraumes reichen also nicht aus, um für die Standorte der Uferzone eine über die Ammonifikation hinausgehende Nitratbildung zu ermöglichen (Abb. 22 u. 23). Die Bodenproben sind zu wasserreich und bleiben deshalb sauerstoffarm.

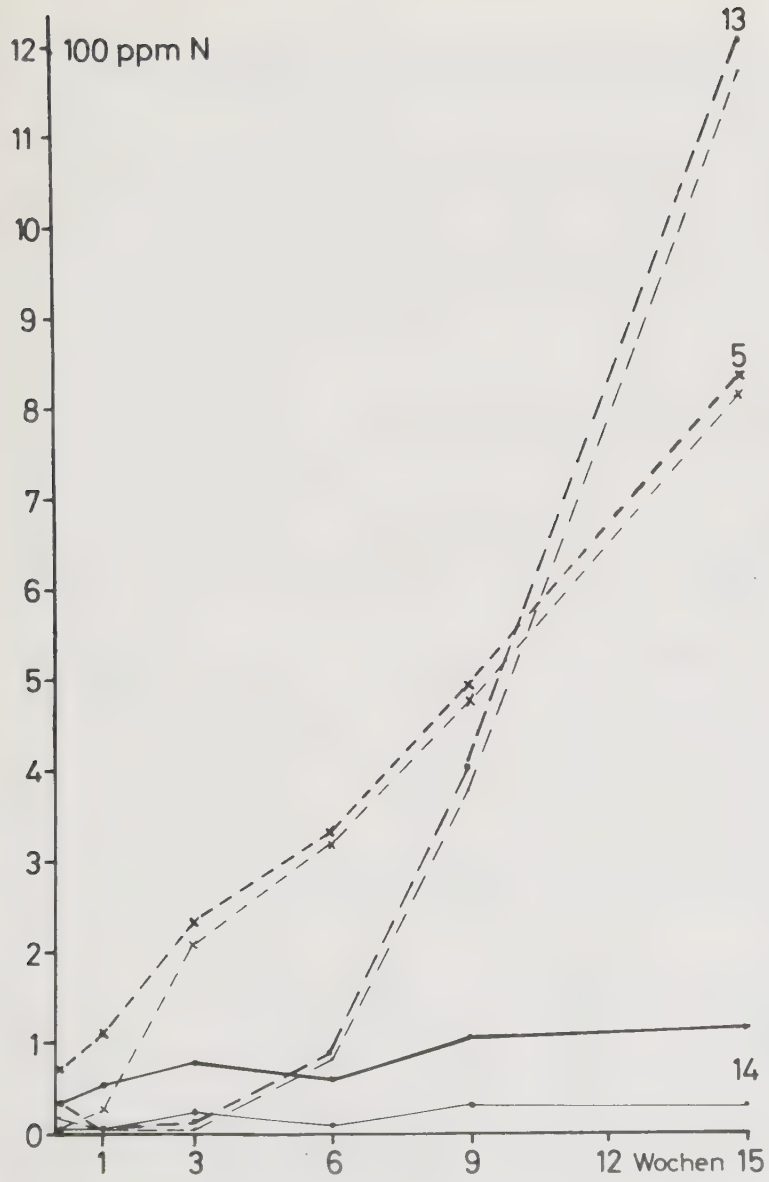

Abb. 22: Die drei Typen der N_{min}-Anreicherungskurven während der Laborbebrütung
Dicke Linie = N_{min}
Dünne Linie = NO_3-N (Nitrat)
Nr. 14 = Typ A
Nr. 5 = Typ B
Nr. 13 = Typ C

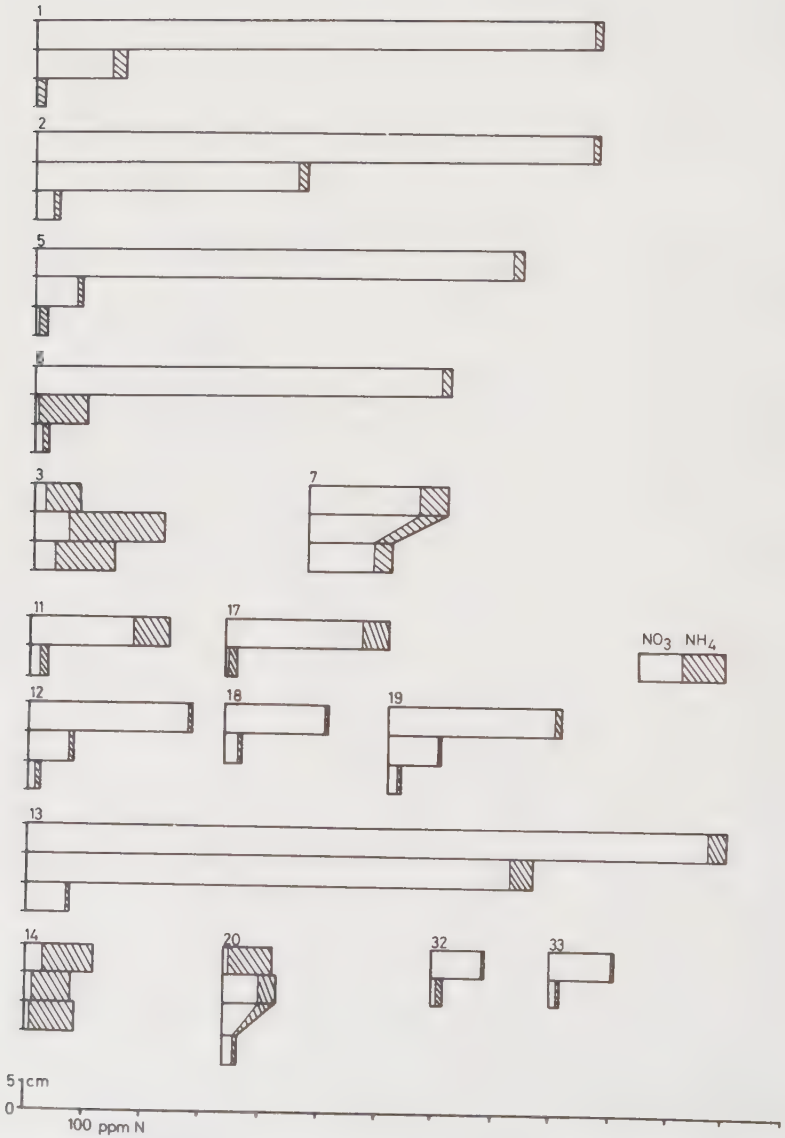

Abb. 23: Mineralstickstoff-Anreicherung in den Bodenproben nach 15 Wochen Laborbebrütung sowie die Verteilung von Ammonium- und Nitrat-Stickstoff in den verschiedenen Entnahmehorizonten

4.323 Der Einfluß von Salzkonzentrationen in der Bodenlösung auf die Stickstoffmineralisation

Die Wirkung von Salzkonzentrationen, wie sie im Jahresgang für die einzelnen Standorte anzutreffen sind, wurde in einem zweiten Brutversuch überprüft. Ausgehend von den Beobachtungen SCHMEISKY'S (1974), daß Salzkonzentrationen von über 20 ‰ für die Pflanzengesellschaften des Graswarders nur selten anzutreffen sind, wurden Bodenproben von allen charakteristischen Standorten bei 20° C im Brutschrank über 12 Wochen gelagert, nachdem sie jeweils mit 0 ‰, 15 ‰ und 30 ‰ Salzlösung besprüht worden waren. Hierbei wurden für 100 g gesiebten Frischboden 25 ml der entsprechenden Salzlösung verwendet, wobei gewährleistet war, daß der Wassergehalt des Bodens nicht übermäßig erhöht wurde. Eine signifikant unterschiedliche Mineralisationsleistung bei verschiedenem Salzgehalt zeigte nur der Boden des Lolium-Trittrasens. Hier war eine Verschiebung im Verhältnis der Ammonium- zu Nitratanreicherung zu beobachten; und zwar überwog mit zunehmenden Salzgehalt die Ammonifikation (Abb. 24 u. 25). In den übrigen Böden hatte die Salzkonzentration keinerlei Auswirkung auf Art oder Menge des mineralisierten Stickstoffs (Abb. 26).

Da der auf den Strandwallkuppen befindliche Lolium-Trittrasen nur äußerst selten von Hochwasserständen der Ostsee erreicht wird (SCHMEISKY 1974), könnte das Fehlen von salzresistenten Nitratbakterien für den Zusammenbruch der Nitrifikation bei erhöhten Salzkonzentrationen verantwortlich sein. Die Empfindlichkeit der Nitrifikanten gegenüber dem Salzgehalt der Bodenlösung wird noch deutlicher, wenn die tatsächlichen, am Ende des Versuchs bestimmten Salzkonzentrationen der Proben, zu Grunde gelegt werden. Die Überprüfung der Salzgehalte in den einzelnen Salzstufen ergab nämlich für die 0 ‰ Stufe =1,4 ‰, für 15 ‰ = 4,6 ‰ und für 30 ‰ = 7,2 ‰.

Für die tiefer gelegenen und häufiger überfluteten Pflanzengesellschaften müssen dementsprechend Bakterienstämme mit einer größeren Salztoleranz angenommen werden, die zumindest bei den in diesem Versuch vorherrschenden Salzkonzentrationen von 6 bis 10 ‰ und den während der Bebrütung herrschenden günstigen Mineralisationsbedingungen zu einer Nitratnachlieferung befähigt sind. RHEINHEIMER (1973) konnte in der westlichen Ostsee halophile Formen von Stickstoffbakterien isolieren, die sich optimal bei einem Salzgehalt von 10 - 25 ‰ entwickelten. Dagegen fand HELWANI (1971) in den von ihm untersuchten typischen

Ufergesellschaften eines Strandsees in der Camargue eine ungehinderte Ammonium-Nachlieferung noch bei Salzkonzentrationen von 5 - 10 % NaCl in der Bodenlösung. Auch eine behinderte Nitrat-Mineralisation konnte von ihm im Experiment beobachtet werden, die allerdings erst bei einer 2 %igen Salzkonzentration bemerkbar wurde. Dies muß sicher auf Bakterienpopulationen zurückgeführt werden, die sich wegen der meist hohen Salzkonzentrationen dieser Standorte durch eine ebenfalls erhöhte Salztoleranz auszeichnen.

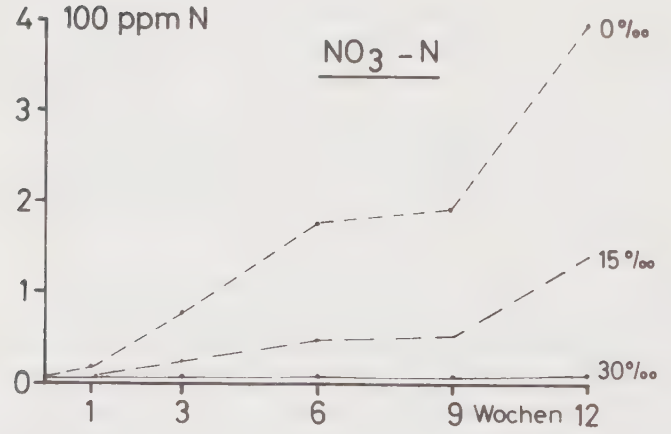

Abb. 24

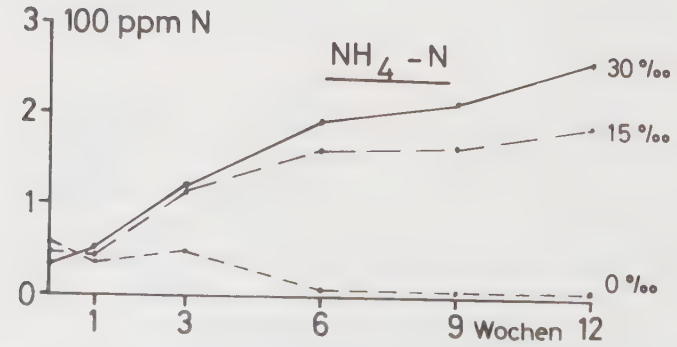

Abb. 25

Abb. 24 u. 25: Verlauf der Ammonium- bzw. Nitratanreicherung in den Salzstufen des Lolium-Trittrasens während der Laborbebrütung

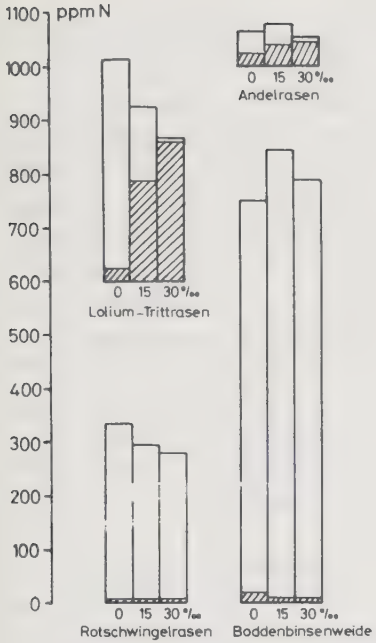

Abb. 26: Gehalt an Nitrat- und Ammoniumstickstoff nach 12 Wochen Laborbebrütung in Abhängigkeit von der jeweiligen Salzkonzentration
Ammonium = schraffiert

4.33 Die Stickstoffmineralisation im Jahresgang

4.331 Die klimatischen Bedingungen in den Untersuchungsjahren

Sowohl 1973 als auch 1974 war der April der erste bodenfrostfreie Monat, wobei im April 1974 die Durchschnittstemperatur mit 7,0° C um 1,5° C höher lag als im gleichen Monat des Vorjahres. Die monatlichen Durchschnittstemperaturen stiegen bis zum Juni beider Jahre auf etwa 15° C und erreichten ihren Höchstwert 1973 mit 18,0° C im Juli und 1974 mit 17,0° C im August. Im September fielen die Temperaturen wieder sehr stark ab, und in beiden Jahren traten im Oktober bereits vereinzelt Bodenfröste auf (Abb. 27).

Im langjährigen Mittel ergab sich für die Region Heiligenhafen/Fehmarn eine jährliche Niederschlagsmenge von 562 mm. Abweichend vom Vorjahr fielen 1974 nur sehr geringe Niederschläge im April (20 mm) und Mai (10 mm). Dagegen brachte der Juli 1974 mit 78 mm den höchsten monatlichen Niederschlag im gesamten Untersuchungszeitraum. Abweichend von der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung, die sich im langjährigen Mittel für das Untersuchungsgebiet ergeben hat, ließ sich in den beiden Untersuchungsjahren eine gleichmäßigere Niederschlagsverteilung beobachten, die für das ozeanische Klima charakteristisch ist (Abb. 27). Wegen der größeren Transpirations- und Verdunstungsverluste in den Sommermonaten muß mit einer erheblichen Anspannung des Wasserhaushaltes von grundwasserfernen Standorten gerechnet werden.

Die in dieser Arbeit berücksichtigten Niederschlagsmengen und Temperaturangaben wurden vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt. Die Daten entstammen der Wetterstation Westermarkelsdorf auf Fehmarn.

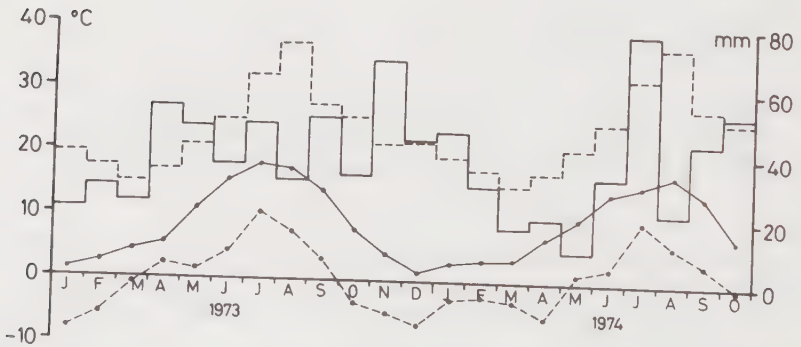

Abb. 27: Der Witterungsverlauf 1973 u. 1974 an der Station Westermarkelsdorf
Säulendiagramm: Monatliche Niederschlagsverteilung im Untersuchungszeitraum = durchgezogene Linie
Langjähriges Mittel der monatlichen Niederschlagsverteilung = gestrichelte Linie

Die durchgezogene Linie der Kurve zeigt die monatliche Durchschnittstemperatur an, die gestrichelte Linie die monatlichen Tiefstwerte der Temperatur in Bodennähe

4.332 Die Stickstoffmineralisation im Auflagehumus

Der Verlauf der Stickstoffmineralisation wurde während der Vegetationsperioden der Jahre 1973 und 1974 bestimmt. Hierbei war das späte Einsetzen der Mineralisation in allen untersuchten Böden auffallend, so daß im ersten Untersuchungszeitraum vom 17. März bis zum 12. Mai 1973 überhaupt keine nennenswerte N_{min}-Anreicherung in dem Probematerial festgestellt werden konnte. Auch in der zweiten Bebrütungsperiode, die bis zum 16. Juni dauerte, blieb der Nettoertrag der Stickstoffmineralisation für fast alle Probeflächen sehr gering. Im Juli war dann ein sprunghafter Anstieg in der Stickstoffnachlieferung zu beobachten. Dieses späte Einsetzen der Stickstoffmineralisation muß als Beweis für ihre Temperaturabhängigkeit gewertet werden, da der Frühling in dieser nördlichen Region verspätet einsetzt (WALTER 1960), und die Durchschnittstemperatur im Juli mit 18° C den Jahreshöchstwert erreicht. Die Bodenfeuchtigkeit war dagegen auch in den früheren Monaten ausreichend oder sogar günstiger. Außerdem ist es denkbar, daß durch die Überschwemmungen im Winterhalbjahr vorjährige Streu und abgestorbene Bakterienpopulationen weggeschwemmt wurden, die in Landökosystemen als leicht mineralisierbares Material ein Maximum der N-Mineralisation im Frühjahr bewirken.

Bei dem weiteren Verlauf der jahreszeitlichen Stickstoffmineralisation läßt sich ein Unterschied zwischen den grundwassernahen Standorten und den trockeneren Kuppen der untersuchten Strandwälle beobachten. In allen Böden von Strandwall I sowie im grundwassernahen Boden der Boddenbinsenweide von Strandwall II folgt dem Frühsommermaximum eine Phase der verminderten N_{min}-Nachlieferung im August und Anfang September und ein erneuter Anstieg im Oktober, bevor die Stickstoffmineralisation durch Wärmemangel stark eingeschränkt wird (Abb. 28). Diese Jahresperiodik der Stickstoffmineralisation stimmt weitgehend mit den bisher von anderen Pflanzengesellschaften vorliegenden Beobachtungen überein, wo auf die Phase größter bodenbiologischer Aktivität eine auf die sommerliche Trockenheit zurückgeführte Depression folgt, ehe sich durch größere Feuchtigkeit bei noch relativ hohen Temperaturen ein erneuter Anstieg der Stickstoffmineralisation im Spätsommer bemerkbar macht.

Andere Verhältnisse spiegeln sich im jahreszeitlichen Mineralisationsverlauf des Lolium-Trittrasens von Strandwall II wider. Auch hier ist ein Anstieg der Stickstoffmineralisation im Juni und Juli zu beobachten, aber die Spitzen der Mineralisationskurven liegen hier gerade in den trockenen Hochsommermonaten August und September und erreichen mit über 30 kg N/ha in sechs Wochen (für die oberen 5 cm Boden berechnet) die höchsten Einzelwerte des gesamten Untersuchungsgebietes. Mit fallenden Temperaturen im September und Oktober geht auch in diesen Böden die Nachlieferung von pflanzenverfügbarem Stickstoff zurück (Abb. 29).

Im großen und ganzen stimmt der Verlauf der Stickstoffmineralisation in den Jahren 1973 und 1974 überein. Durch den milden April 1974 ergeben sich allerdings höhere Werte zum ersten Probetermin als im Vorjahr.

Die Mineralisationsleistung unter der trockenen Trittrasengesellschaft von Strandwall II war in beiden Untersuchungszeiträumen auffallend hoch. Aufgrund der größeren Niederschlagsmengen im Jahre 1974, vor allem im Juli, ergaben sich besonders große N_{min}-Anreicherungen. Da der Lolium-Trittrasen bzw. der Agropyron-Bestand des älteren Strandwalles I bei gleicher Humusform über eine größere Bodenfeuchtigkeit und die dreifachen N_{ges}-Vorräte verfügt, ist ein so auffallender Unterschied bei der jahreszeitlichen Stickstoffmineralisation, wie er sich bei einer Gegenüberstellung der Jahreskurven zeigt (Abb. 28 u. 29), mit bodenbiologischen Prozessen allein nicht zu erklären. Außerdem zeigte sich im Brutschrankversuch die Überlegenheit der Wallkuppen von Strandwall I in Bezug auf die Stickstoffmineralisationskapazität sehr deutlich.

Diese zunächst überraschende Feststellung mag eine Erklärung darin finden, daß der Graswarder zum größten Teil ein Vogelschutzgebiet ist und in den Monaten Mai bis September einer Vielzahl von Seevögeln als Brutgelände dient. Nach Angaben der Vogelschutzwarte von Heiligenhafen befinden sich durchschnittlich 5 000 Brutpaare in dieser Zeit auf dem Graswarder, von denen die Sturmmöwen den weitaus größten Anteil ausmachen. Mit ihren stickstoff- und phosphorreichen Exkrementen tragen sie zu einer erheblichen Eutrophierung der Böden bei. Hinweise auf die düngende Wirkung von Seevögelexkrementen für küstennahe Pflanzengesellschaften finden sich u. a. bei DU RIETZ (1932), GESSNER (1932 u. 1957) u. GOETHE (1969).

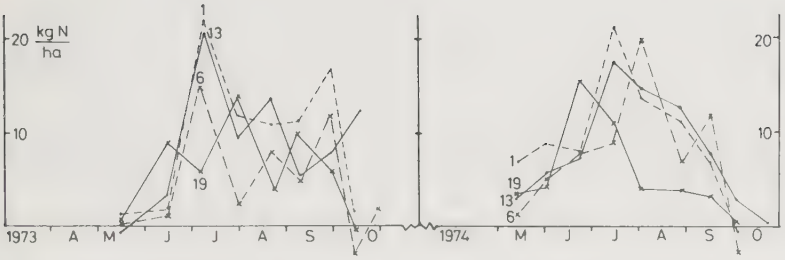

Abb. 28: N_{min}-Anreicherung der grundwassernahen Probeflächen während der Freilandbebrütung in den obersten Entnahmehorizonten (0-5 cm)

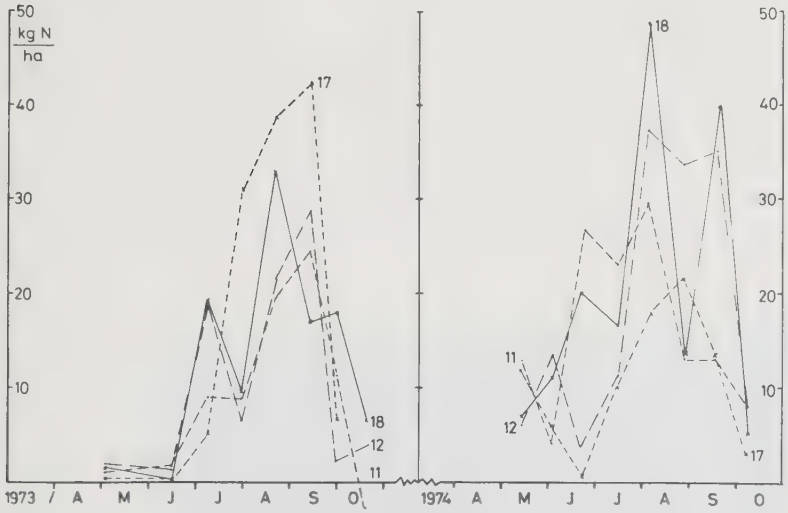

Abb. 29: N_{min}-Anreicherung der grundwasserfernen Probeflächen von Strandwall II während der Freilandbebrütung in den obersten Entnahmehorizonten (0 - 5 cm)

Für die Größe des Graswarders (ca. 80 ha mit eingeschlossenen Wasserflächen) läßt sich mit der von STADIE (1929, zitiert bei GESSNER 1932) angegebenen Menge Stickstoff, die eine Möwe täglich ausscheidet (2,25 g N), eine theoretische Stickstoffzufuhr von 42 kg/ha errechnen. Wegen der größeren Unruhe im Bereich der Straße und der Häuser (Abb. 30), bevorzugen die Seevögel den östlichen Teil des Graswarders auffallend zum Brüten. Eine entsprechend höhere Stickstoffzufuhr für die Pflanzengesellschaften dieser jüngeren Strandwälle wäre demnach denkbar.

Für die außerordentlich starke Stickstoffzufuhr durch die Exkremente der Seevögel spricht der ebenfalls ungewöhnlich hohe Gehalt an aktuellem pflanzenverfügbaren Stickstoff (Abb. 31 u. 32). Im allgemeinen lassen sich in Böden mit einer ausgeglichenen Stickstoffbilanz, in denen der Grad der Stickstoffversorgung der Pflanzen von der Mineralisation abgestorbenen organischen Materials abhängig ist, nur verschwindend kleine Mengen von aktuellem Mineralstickstoff nachweisen (s. z. B. HELWANI 1971, KLÖTZLI 1969, RUNGE 1965, ZÖTTL 1960 a). Dagegen muß für den Graswarder angenommen werden, daß der durch die Exkremente der Möwen anfallende Stickstoff während der sommerlichen Trockenheit zwar in der obersten Bodenschicht mineralisiert wird, dort aber größtenteils verbleibt und erst bei stärkeren Regenfällen in den Bereich der Wurzeln oder auf Grund der Durchlässigkeit des sandigen Untergrundes in das Grundwasser hinabgewaschen wird.

Abb. 30: Queckenrasen von Probefläche 1. Im Hintergrund Ferienhäuser auf dem Graswarder

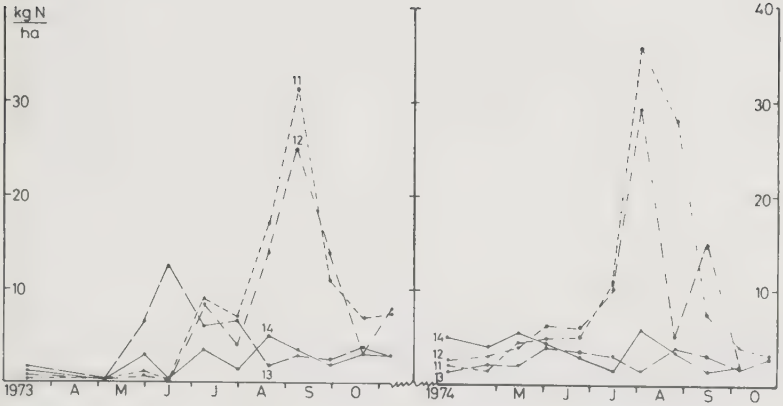

Abb. 31: Jahreszeitlicher Verlauf der aktuellen N_{min}-Gehalte auf Strandwall II in den obersten Entnahmehorizonten (0-5 cm)

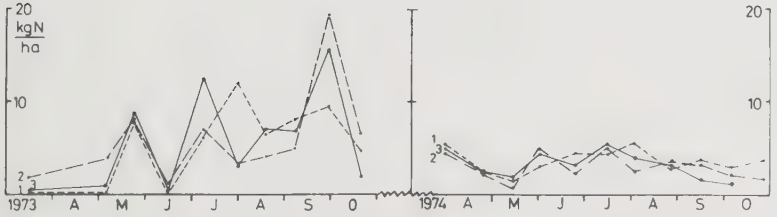

Abb. 32: Jahreszeitlicher Verlauf der aktuellen N_{min}-Gehalte auf Strandwall I in den obersten Entnahmehorizonten (0-5 cm)

Die Annahme, daß eine beträchtliche Verlagerung von Mineralstickstoff in den Strandwällen vor sich geht, wird gestützt durch die erheblichen N_{min}-Gehalte, die im Grundwasser aus dem Bereich der Boddenbinsenweide nachgewiesen werden konnten (Tab. 6). Da in dem nur wenige Meter entfernten offenem Ostseewasser keine nennenswerten Mineralstickstoffmengen gefunden wurden, scheint die Torfschicht im Bereich des Grundwassers eine Filter- und Speicherfunktion für den möglicherweise durch die Sandschichten in das Grundwasser ausgewaschenen Stickstoff auszuüben.

Tab. 6: Mineralstickstoff im Grundwasser von Strandwall II (mg/l)

1974	M	A	M	J	J	A	S		O
NH_4-N	0,65	0,87	-	1,12	2,99	1,01	0,49	0,47	0,33
NO_3-N	-	-	-	0,31	0,05	0,17	-	-	0,07

Auf erhebliche N_{min}-Verlagerungen durch Sickerwasser weisen z. B. Lysimeterversuche hin, bei denen eine Stickstoffauswaschung von 80 kg/ha im Jahr bei einem grobsandigen oder kiesigen Untergrund festgestellt wurden (LAATSCH 1954). WILLIAMS (1968) konnte auch im Freiland, besonders unter mineralisationskräftigen Wiesengesellschaften, eine Anreicherung von Mineralstickstoff im Grundwasser nachweisen.

4.333 Die Abstufung der Stickstoffmineralisation in den tieferen Bodenhorizonten

Ähnlich wie bei der Bebrütung im Klimaschrank sind auch bei der Freilandbebrütung ganz charakteristische Abstufungen in den Horizonten der einzelnen Gesellschaften zu beobachten (Abb. 33). So liegt für den Armeria-Trittrasen (Probefläche 11 u. 17) von Strandwall II der Schwerpunkt der Stickstoffmineralisation in dem ca. 5 cm starken humosen Oberboden, während mit zunehmender Bodentiefe ein starker Abfall in der N_{min}-Nachlieferung einhergeht. Auch im Andelrasen verschlechtern sich die Mineralisationsbedingungen in den tiefer gelegenen Bodenhorizonten, was bei einem ausreichenden Nährstoffangebot auf die zunehmende Vernässung und den damit verbundenen anaeroben Bedingungen zurückzuführen ist.

Für die Probeflächen 3 und 9 erwies sich jedoch der Bodenhorizont von 5 bis 10 cm als der günstigste Bereich für die Stickstoffmineralisation. Ausschlaggebend hierfür muß der höhere Zersetzungsgrad von abgestorbenem organischem Material sein, so daß bei den günstigen Wasser- und Durchlüftungsverhältnissen dieses Bodenhorizontes die besten Voraussetzungen für die Mikroorganismen gegeben sind, während in der obersten Bodenschicht noch weitgehend unzersetztes abgestorbenes Pflanzenmaterial vorliegt.

In den Böden aller Pflanzengesellschaften nimmt mit zunehmender Tiefe der Anteil von Ammonium an der Gesamt-N_{min}-Nachlieferung zu. Diese Tendenz darf wohl auf eine ansteigende Sauerstoffverarmung und somit schlechteren Lebensbedingungen für die Nitrifikanten zurückgeführt werden (ENGEL 1958). Schon MEYER (1957) hat bei einer Verschlechterung der Durchlüftung in den von ihm untersuchten Wiesen- und Röhrichtböden des Elballuviums bei Hamburg eine Verschiebung im Verhältnis der N_{min}-Nachlieferung zugunsten der Ammonifikation nachgewiesen.

In diesem Zusammenhang sind auch die Düngungsversuche von TYLER (1967) an Salzrasengesellschaften der Ostsee sehr aufschlußreich. Hier konnte eine Anpassung von Pflanzen der unmittelbaren Uferzone (z. B. *Juncus gerardii*) an NH_4-Düngung gezeigt werden, während eine NO_3-N-Düngung ohne Wirkung blieb. Von TYLER wird dieses Verhalten mit dem im staunassen Substrat vorherrschenden Redoxprozessen erklärt, die zu einer verstärkten Nachlieferung der reduzierten Stickstofform (NH_4^+) führt und die Spezialisierung der in diesem Biotop vorherrschenden Pflanzenarten hervorruft. WILLIAMS (1968) fand bei den von ihm untersuchten Wiesen mit zunehmender Nässe eine Abnahme der N_{min}-Nachlieferung, die besonders durch den Rückgang der Nitrifikation hervorgerufen wird.

4.334 Die Stickstoffmineralisation in den unbeweideten Probeflächen

Der Graswarder wird in Form einer Standweise für Jungrinder genutzt, d. h., die Tiere verbleiben vom Frühjahr bis zum Oktober auf dem Gelände. Nach KLAPP (1965) kann eine Verarmung des Bodens durch den Nährstoffexport der Weidetiere weitgehend ausgeschlossen werden, da die Exkremente der Tiere weitgehend auf dem Gelände verbleiben. Durch Tritt- und Fraßwirkung wird die Bodenentwicklung sowie die Konkurrenzfähigkeit einzelner Pflanzenarten erheblich beeinflußt. So können sich auf den trockenen Strandwallkuppen nur

extrem trittfeste Pflanzen behaupten, während im Uferbereich keine Arten bestehen können, die einen längeren Entwicklungszeitraum benötigen, da hier durch den Tritt eine ständige Umstrukturierung und Durchmischung des schlickigen Bodens stattfindet (Abb. 34). Hierin dürfte ein Hauptgrund für das Fehlen von Schilf- und Röhrichtgesellschaften auf dem beweideten Teil des Graswarders liegen (SCHMEISKY 1974). Während KRAUSE (1958) in dieser durch den Tritt hervorgerufenen Umlagerung des schlammigen Bodenmaterials von Salzlecken des Binnenlandes eine positive Auswirkung auf die Nährstoffmobilisierung feststellen konnte, dürfte eine solche für die stets staunassen Uferzonen des Graswarders kaum gegeben sein.

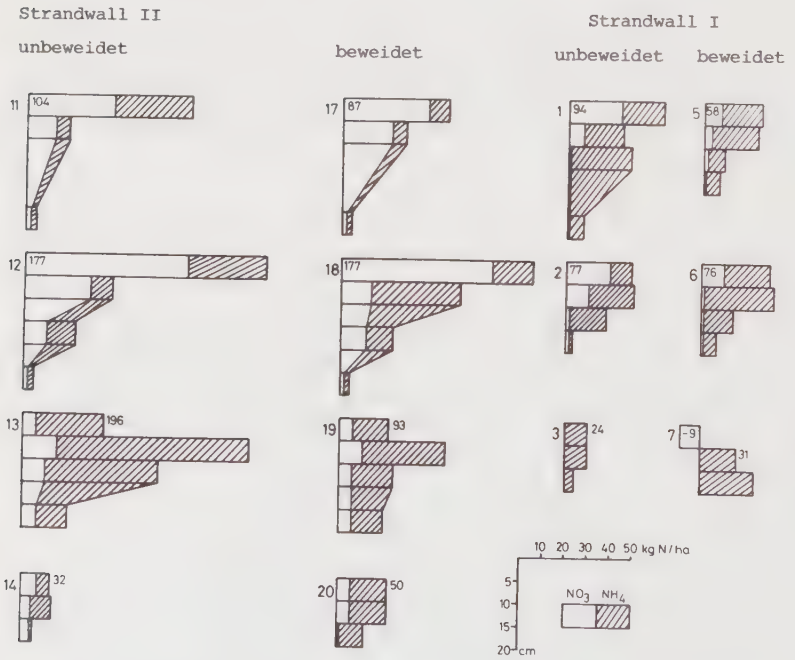

Abb. 33: Jahressummen der Stickstoffmineralisation in den einzelnen Entnahmehorizonten während der Freilandbebrütung 1974. Die Ziffern rechts der Null-Linie bedeuten die Jahressummen der N_{min}-Anreicherung für eine Bodentiefe von 0 - 15 cm.

Angesichts der Tatsache, daß sich die meisten Pflanzengesellschaften auf dem Graswarder von Anfang an unter dem selektiven Einfluß der Beweidung befunden haben, ist der Zeitraum von ungefähr fünf Jahren, in dem die Beweidung auf den Dauerquadraten ausgeschlossen wurde, zu kurz bemessen, um über die sich hieraus ergebenden Veränderungen auf die Stickstoffmineralisation ein gesichertes Urteil abgeben zu können. Dennoch macht sich bei allen Böden sowohl im Brutschrankversuch als auch in den Jahressummen der Freilandbebrütung eine verstärkte Mineralisation unter unbeweideten gegenüber den beweideten Probeflächen bemerkbar (Tab. 7, Abb. 33 u. 35). Die Gründe hierfür müssen erstens in der Auflockerung der oberen Bodenschichten gesucht werden, die zusammen mit der Vergrößerung des Porenvolumens durch die fehlende Trittbelastung und den verstärkten Streufall hervorgerufen wurde. Hierdurch wird ein besserer Gasaustausch im Boden ermöglicht, der die Voraussetzungen für bessere Lebensbedingungen und eine Aktivitätssteigerung der Mikroorganismen bildet. Zweitens ist der höhere Gehalt an Gesamt-Stickstoff in den unbeweideten Pflanzengesellschaften bemerkenswert, der bei der erheblichen Stickstoffzufuhr durch die Möwenexkremente auf ein besseres N-Akkumulationsvermögen der unbeweideten Flächen schließen läßt. Besonders deutlich wird dieses Vermögen bei dem Rotschwingelrasen von Strandwall II, wo sich der Stickstoffgehalt in der obersten lockeren, stark durch Wurzeln und Streu verfilzten Bodenschicht auf 2,09 % angereichert hat, gegenüber 0,77 % auf der entsprechenden beweideten Probefläche, deren festgetretene organische Auflageschicht von dicht an den Boden gepreßten und so an die Beweidung angepaßten Pflanzen, wie *Leontodon autumnalis*, *Plantago coronopus*, *Trifolium fragiferum* und *Potentilla anserina*, besiedelt wird (Abb. 36 u. 37).

Tab. 7: Gegenüberstellung der Stickstoffnachlieferung von beweideten und unbeweideten Probeflächen unter Berücksichtigung ihres Porenvolumens und der N_{ges}-Vorräte

Probeflächen-Nr. und Horizonttiefe	13 0-5	5 - 10	10 - 15	19 0-5	5 - 10	10 - 15
N_{min} Laborbebr. (ppm N)	1 207,0	869,9	69,5	293,0	90,4	20,3
Freilandbebr. kg N/ha/Jahr	36,0	100,2	60,1	22,0	47,3	24,4
Porenvolumen (%)	89,4	74,3	65,6	84,7	59,6	62,9
N_{ges} (%)	2,09	1,85	0,29	0,77	0,33	0,07

Abb. 34: Durch den Tritt der Weidetiere stark in Mitleidenschaft gezogener Uferbereich des Andelrasens

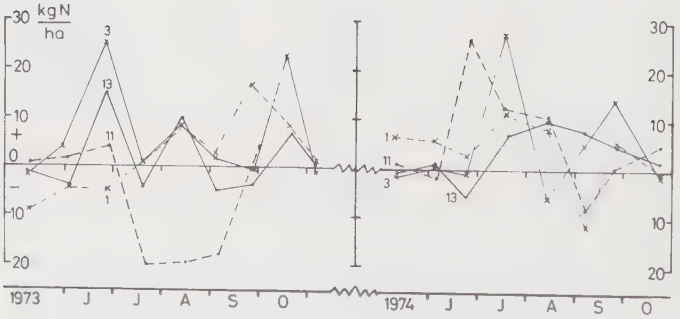

Abb. 35: Unterschiede in der Stickstoffmineralisation zwischen den beweideten und unbeweideten Probeflächen einiger charakteristischer Pflanzengesellschaften des Graswarders. Die Null-Achse entspricht dem N_{min}-Gehalt der jeweiligen beweideten Probefläche

4.335 Die Jahressummen der Mineralstickstoffnachlieferung

Zur Ermittlung der Jahressummen der Mineralstickstoffnachlieferung wurden die NH_4- und NO_3-Mengen, die sich in den 6-wöchigen Lagerungsperioden am Standort gebildet hatten, auf kg N/ha umgerechnet. Die Werte für alle Lagerungsperioden einer Vegetationszeit wurden sodann summiert. Bei diesen Berechnungen wurde eine Bodentiefe von 0 - 15 cm berücksichtigt (Abb. 33). Außerdem mußten die so ermittelten Summen halbiert werden, da die Lagerung der Proben im 3 -wöchigen Turnus vorgenommen wurde, und sich die einzelnen Bebrütungsperioden somit alle 3 Wochen überlagerten.

Da die N-Mineralisation im Winter in der Regel gering ist, über sie aber keine Aussagen gemacht werden können (siehe auch 5.4), wurde die N_{min}-Anreicherung in der bodenfrostfreien Jahreszeit von April bis Oktober als "Jahressumme" der N-Nachlieferung angesehen.

Tab. 8: Jahressummen der Stickstoffmineralisation in den untersuchten Pflanzengesellschaften in kg/ha

Probefläche	11	12	13	14	17	18	19	20	32	33
0 - 5 cm	73	107	36	13	47	85	22	22	12	25
0 - 15 cm	104	177	196	32	87	177	93	56	34	40

Probefläche	1	2	3	5	6	7
0 - 5 cm	42	29	10	25	30	- 9
0 - 15 cm	94	77	24	58	76	31

Die in Tabelle 8 zusammengestellten Werte sind zwar untereinander vergleichbar, geben aber keine genaue Vorstellung von der tatsächlichen N-Versorgung der Pflanzen (siehe hierzu RUNGE 1970 und ZÖTTL 1960 b). Ein Vergleich mit den Stickstoffmineralisationserträgen anderer Grünlandgesellschaften ist aber vor allem deshalb kaum möglich, weil auf dem Graswarder durch die von Möwenexkrementen verursachte Eutrophierung und die durch Auswaschungsvorgänge hervorgerufene Stickstoffverlagerung zwischen den einzelnen Salzrasengesellschaften eine ganz spezielle Situation angetroffen wird.

Immerhin kann festgestellt werden, daß in den Pflanzengesellschaften des Graswarders, die sich durch hohe Mineralisationswerte auszeichnen, ein jährliches Mineralstickstoffangebot vorliegt, wie es sonst nur auf mehr oder weniger stark gedüngten Wirtschaftswiesen anzutreffen ist (WILLIAMS, LEÓN, ELLENBERG 1968). Dementsprechend sind nach RIEDE (1973) die Biomassen-Erträge in den Rasengesellschaften des Graswarders verhältnismäßig hoch und kommen denen einer teilgedüngten (Phosphor-Kali) Wiese im Solling gleich. Bemerkenswert ist außerdem, daß die Mineralisationsleistung des nassen Andelrasens in dem Bereich liegt, den WILLIAMS (1968) für die nasse Variante der von ihm untersuchten gedüngten Feuchtwiesen (Kohldistelwiesen, 25 - 70 kg/ha/J) ermittelte.

Abb. 36

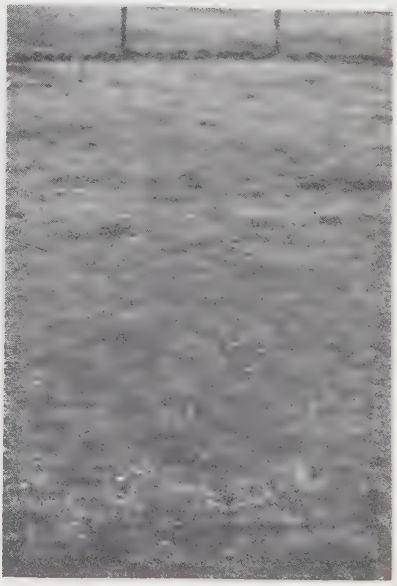

Abb. 37

Abb. 36 u. 37: Der unbeweidete und beweidete Aspekt der Pflanzengesellschaften von Strandwall II. Im Vordergrund die Gesellschaft der Strandwallkuppe. Im Anschluß daran der Rotschwingelrasen sowie die Boddenbinsenweide

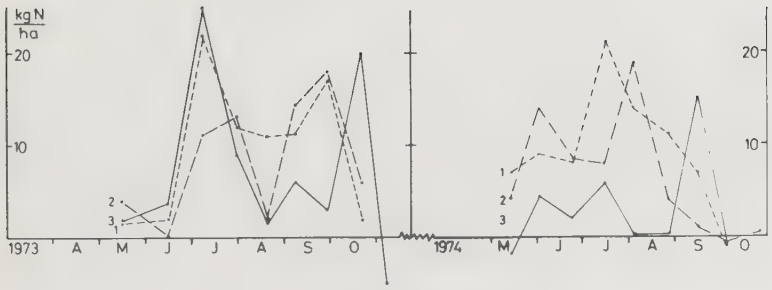

Abb. 38: Jahresgang der N_{min}-Anreicherung in den Pflanzengesellschaften von Strandwall I in den obersten Entnahmehorizonten (0 - 5 cm)

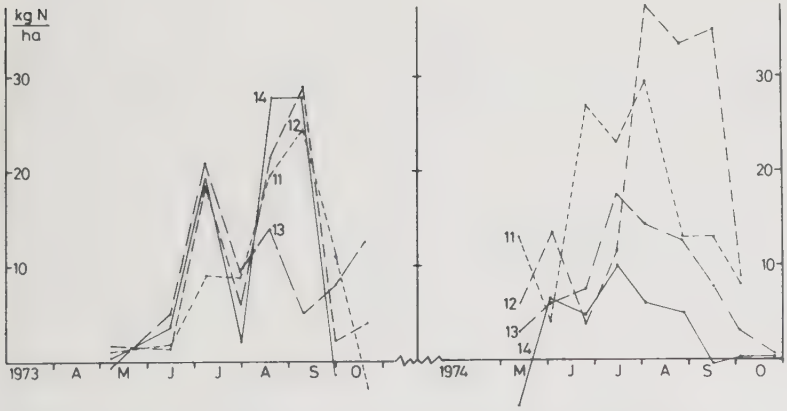

Abb. 39: Jahresgang der N_{min}-Anreicherung in den Pflanzengesellschaften von Strandwall II in den obersten Entnahmehorizonten (0 - 5 cm)

5. DISKUSSION

5.1 Zur Methodik

Um die Intensität der Stickstoffmineralisierung in den Salzrasengesellschaften des Graswarders bei Heiligenhafen zu bestimmen, wurden die Methoden der Brutschrank- und Freilandbebrütung von Bodenproben gewählt. Mit diesen Methoden konnte bereits die Größenordnung der Stickstoffnachlieferung von Wald-, Grünland- und Heidegesellschaften bestimmt werden. Auch auf dem Graswarder hat sich das Nebeneinander beider Methoden bewährt.

Für die Beurteilung der Stickstoffmineralisation von Böden im unmittelbaren Grundwasserbereich, wie unter dem Andelrasen, gibt die Freilandbebrütung allerdings unbefriedigende Anhaltspunkte, weil es in den Polyäthylenbeuteln zur Fäulnis kam und die Denitrifikation vielleicht stärker war als außerhalb der Beutel.

Inwieweit sich die unterschiedliche Aufbereitung des Bodenmaterials auf die Mineralisationsvorgänge ausgewirkt hat, ist nur schwer zu beurteilen. So zeigt ein Vergleich zwischen gesiebten, im Brutschrank gelagerten Proben und den bei der Freilandbebrütung verwendeten, nicht veränderten "Strukturproben" keine einheitliche Tendenz der Unterschiede in der Mineralisationsleistung (Tab. 9).

Tab. 9: Nettomineralisation in kg N/ha nach 6 Wochen Lagerung im Brutschrank (B) und 6 Wochen Lagerung am natürlichen Standort (F) (Jahresmaximalwert)

Probefläche	0 - 5			5 - 10			10 - 15		
	B	F	Diff.	B	F	Diff.	B	F	Diff.
5	33,0	27,1	- 5,9	9,8	14,6	+ 4,8	5,8	7,9	+ 2,1
6	22,8	20,0	- 2,8	7,9	15,9	+ 8,0	0,4	5,8	+ 5,4
7	9,1	14,4	+ 5,3	13,1	7,3	- 5,8	1,4	12,5	+11,1
11	20,0	29,1	+ 9,1	3,3	7,2	+ 3,9	-		
13	3,2	21,0	+16,8	36,3	36,6	+ 0,3	20,5	23,5	+ 3,0

Für einige Standorte stimmten die Mineralisationserträge sehr gut überein. Bei anderen scheint die eine oder andere Lagerungsweise des Bodens zu höheren Ergebnissen zu führen. Die Frage, ob die mit dem Sieben verbundene Strukturzerstörung die Mikroorganismentätigkeit fördert, oder zumindestens anfänglich ungünstig beeinflußt, ist ebenso wie die Bedeutung des in den Strukturproben enthaltenen Wurzelmaterials noch nicht endgültig beantwortet, und dürfte je nach Art des zu untersuchenden Bodens sowie dessen bodenbiologischen Zustand eine unterschiedliche Beurteilung erfordern (GERLACH 1973).

5.2 Zum Jahresgang der Stickstoffmineralisation

Die Böden des Graswarders, die über einen ausgeglichenen Wasserhaushalt verfügen, zeigen einen jahreszeitlichen Verlauf der Stickstoffmineralisation, wie er für das humide, gemäßigte Klima Mitteleuropas als typisch angesehen werden kann. Bedingt durch die guten Feuchtigkeitsverhältnisse und ein großes Angebot an mineralisierbarem Material, wie abgestorbene Pflanzenteile und Mikroorganismen, ist bei steigenden Temperaturen im Frühjahr ein kräftiges Einsetzen der Mineralisation zu beobachten. Das Emporschnellen der Kurven tritt allerdings infolge der nördlichen Lage des Untersuchungsgebietes erst im Juni/Juli ein. Darauf folgt ein Rückgang der Mineralisation in den Hochsommermonaten und ein erneuter, allerdings geringerer Anstieg im Oktober.

Das Maximum der Stickstoffmineralisation im Juni bzw. Juli entspricht recht gut den Ergebnissen von RIEDE (1973) und TYLER (1971), die in diesen Monaten für dieselben oder ähnlichen Pflanzengesellschaften auch den höchsten Gehalt an Stickstoff in der oberirdischen Pflanzensubstanz feststellen konnten.

Da die Pflanzen im Sommer viel Mineralstickstoff aufnehmen, ist der aktuelle Gehalt an NH_4 bzw. NO_3 in den Böden zu dieser Zeit sehr gering. Anders stellen sich dagegen die Verhältnisse auf den trockenen Kuppen der jüngeren Stranwälle dar. Hier liegt das mehr oder weniger stark ausgebildete eingipflige Mineralisationsmaximum im Hochsommer. Wegen der Trockenheit dieser Standorte ist das Aufnahmevermögen der Pflanzen für den Mineralstickstoff aber beschränkt, und die aktuellen Gehalte im Boden sind nahezu genau so hoch wie die im Brutversuch ermittelten Werte.

Für den unerwartet hohen aktuellen N_{min}-Gehalt kann nur das reichliche Vorhandensein von leicht mineralisierbaren Stickstoffverbindungen verantwortlich gemacht werden, wie sie diesen Standorten durch die stickstoffreichen Exkremente der Seevögel zufallen (siehe Seite 42).

In den grundwassernahen Gesellschaften der unmittelbaren Uferzone dagegen muß trotz der methodischen Einschränkungen (siehe 5.1) wegen des Sauerstoffmangels eine mehr oder weniger stark behinderte Stickstoffmineralisation vermutet werden, die im wesentlichen auf die meist staunassen Bedingungen in den Böden dieser Standorte zurückgeführt werden darf. Da jedoch die Stickstoffversorgung der Pflanzengesellschaften des Graswarders durch die ständige Zufuhr von Möwenexkrementen im allgemeinen als gut bezeichnet werden muß, konnten sich hier trotzdem Torfschichten ausbilden, deren Stickstoffgehalte auffallend hoch sind (HOPPE 1971, PERSCHKE 1974).

5.3 Zum Stickstoffhaushalt der Strandwälle

Eine Betrachtung der drei unterschiedlich weit entwickelten Strandwälle zeigt, daß auf den Kuppen der beiden jüngeren Wälle eine im Verhältnis zu den relativ geringen Stickstoffvorräten sehr intensive Mineralisation vor sich geht. Eine solche wird von KRAUSE (1958) als ein Charakteristikum von Ruderalstandorten angesehen. Auf dem jüngsten Strandwall wird der Stickstoffhaushalt überwiegend durch folgende Faktoren bestimmt:

- durch die Niederschläge, mit denen im Gebiet der westlichen Ostsee nach EGNER & ERIKSON (1955) zwischen 7 und 10 kg N/ha u. Jahr zugeführt werden,

- durch die Anreicherung von stickstoffreichem Spülsaummaterial (PANKOW(1969) gibt für die im Spülsaummaterial enthaltenen Planktonalgen einen Nährstoffgehalt an, der dem von gutem Heu ähnlich ist),

- durch Möwenexkremente und

- durch die Bindung von molekularem Stickstoff durch Blaualgen (Cyanophyceen).

Den Algen kommt vermutlich eine große Bedeutung zu, da sie nicht nur den Luftstickstoff binden, sondern auch den Sand festigen (BOOTH 1941). Eine ausführliche Beschreibung einer Bodenentwicklungsreihe auf Dünen, die mit der Erstbesiedlung des Sandes durch Blaualgen beginnt, gibt LAATSCH (1954). Andererseits besteht auf diesen Standorten die Gefahr größter Auswaschungsverluste, weil sie von höheren Pflanzen nur locker besiedelt werden. Dieser erste Eindruck täuscht allerdings insofern, als bei einer Untersuchung der oberen Sandschichten ein überaus dichtmaschiges Netz der Rhizome und Wurzeln, z. B. *Honckenya peploides*, festzustellen ist (ELLENBERG 1963). Hiermit ergibt sich eine auffallende Ähnlichkeit mit den von JENNY-LIPS (1930) beschriebenen Initialstadien von Felsschuttböden, wo auch ein oberirdisch nur lockerer Vegetationsschluß in Zusammenhang mit einer dicht von Wurzeln und unterirdischen Stengeln durchsetzten Feinerdeschicht steht.

Infolge ausreichender Wasserversorgung am Hangfuß dieses jüngsten Strandwalles konnte sich dort eine auch oberirdisch geschlossene Pflanzendecke von salzresistenten Arten ansiedeln (siehe auch ERNST 1969). Diese bewirkte bereits eine beachtliche Anreicherung von Humus und trägt somit ihrerseits zu einem ausgeglicheneren Wasser- und Nährstoffhaushalt bei.

Auf dem ca. 50 Jahre älteren Strandwall hat sich eine geschlossene Pflanzendecke und durch deren ständige Stoffproduktion auch auf der Wallkuppe ein humusreicher Oberboden gebildet. Der Mineralstickstoffumsatz ist hier besonders kräftig. Wegen des sandigen Untergrundes muß jedoch die Möglichkeit von Nährstoffauswaschungen als wahrscheinlich angesehen werden.

Die tiefer gelegenen Gesellschaften sind wegen der besseren Wasserversorgung noch produktiver als die auf der Wallkuppe und haben dadurch eine stärkere organische Auflageschicht hervorgerufen. Trotzdem besteht ein auffallender Unterschied zwischen dem Andelrasen und der sich etwas höher anschließenden *Festuca rubra*-reichen Boddenbinsenweide. Während die Produktivität des Andelrasens durch die ständige Wassersättigung des Substrats eingeschränkt wird, machen sich bei der höher gelegenen Boddenbinsenweide, die wenn auch geringen Wasserstandswechsel, deutlich bemerkbar, so daß Perioden größerer Feuchtigkeit mit solchen guter Bodendurchlüftung abwechseln und somit für bessere Mineralisationsbedingungen sorgen.

Für den Andelrasen muß bei einem Vergleich der jährlichen N_{min}-Nachlieferung (ca. 40 kg/ha) mit dem Stickstoffgehalt der oberirdischen Biomasse (90 - 100 kg/ha nach RIEDE 1973) eine weitere Zufuhr von Mineralstickstoff angenommen werden, die in einer Versorgung über das Grundwasser vermutet wird (siehe 4.332, Seite 44). Allerdings muß bei der geringen N_{min}-Nachlieferung dieser Pflanzengesellschaft noch einmal auf den in der Methode liegenden Unsicherheitsfaktor hingewiesen werden (siehe 5.1).

Für die Boddenbinsenweide trägt dagegen auch das eigene Mineralisationsvermögen zur besseren Produktivität bei. Prinzipiell ähnlich müssen die Nährstoffversorgung und die Mineralisationsbedingungen auch auf dem ältesten der bearbeiteten Strandwälle gesehen werden. Das Ansteigen des Ostseespiegels Das Ansteigen des Ostseespiegels hat aber die Wasserversorgung der Wallkuppen-Vegetation verbessert und so zu höheren Produktionsleistungen als auf Kuppen jüngerer Strandwälle geführt. Die gegenüber dem jüngeren Wall verminderte Mineralisationsleistung im Jahresgang mag einem degradierten Endzustand dieser Bodenentwicklungsserie im Sinne von KRAUSE (1958) entsprechen. Höchst wahrscheinlich haben aber die häufigeren Überflutungen sowie die bereits erwähnte geringere Zufuhr von Möwenexkrementen den Vorrat von leicht mineralisierbaren Stickstoffverbindungen angegriffen und so eine Verringerung der Stickstoffmineralisation herbeigeführt.

5.4 Die Auswirkung von Frösten auf die Stickstoffmineralisierung

Die Proben, die bis in den Oktober und November hinein im Freiland gelagert wurden, erbrachten N_{min}-Anreicherungen, die zum Teil die Höchstwerte der Sommermonate erheblich überschritten (Tab. 10), Diese Beobachtung traf allerdings nur für die hoch über dem Grundwasser gelegenen Probeflächen von Strandwall II zu, die als stärker frostgefährdet angesehen werden müssen, als die am Fuße von Strandwällen, wo kurzfristige Temperaturschwankungen durch den hohen Wassergehalt des Bodens abgedämpft werden (Tab. 11).

Die Untersuchungen von ERHARDT (1961) und GERLACH (1973) machen es wahrscheinlich, daß die Maximalwerte in der kalten Jahreszeit auf den sogenannten "Frosteffekt" zurückgehen:Folgen auf eine Frostperiode günstigere Temperaturverhältnisse, so stellen die durch Autolysevorgänge im Boden angehäuften toten Mikro-

benmassen ein großes Potential an stickstoffreicher, leicht zersetzlicher Substanz dar, durch die eine schlagartig gesteigerte N-Mineralisation ermöglicht wird. Im Frühjahr wird durch solche "Frosteffekte" den Pflanzen zum Zeitpunkt ihrer größten Wachstumsaktivität besonders viel Mineralstickstoff angeboten. Im Spätherbst und Winter fällt die Aufnahme durch höhere Pflanzen nahezu oder ganz weg. Deshalb kann sich Mineralstickstoff anreichern. Das ist auch dann der Fall, wenn Proben, die im Freiland Temperaturen um den Gefrierpunkt ausgesetzt waren, bei der Verarbeitung erwärmt werden. Experimentell konnte GERLACH (1973) eine kurzfristige Erhöhung der N_{min}-Konzentration auf das 5-fache bei Bodenmaterial nachweisen, das bei 0° C am Standort entnommen wurde.

Da durch den "Frosteffekt" in sehr kurzer Zeit erhebliche Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff bereitgestellt werden, ist die Gefahr von Auswaschungsverlusten in der kühlen Jahreszeit besonders groß. Für den Graswarder ist das späte Einsetzen der Stickstoffmineralisation (im Juni/Juli) neben der in Küstennähe verzögerten Erwärmung im Frühjahr vielleicht auf solche Auswaschungsverluste zurückzuführen. Diese dürften besonders groß sein, wenn auf eine Frostperiode eine Erwärmung und wenige Tage später ein Hochwasser folgt. ERHARDT (1961) weist bereits darauf hin, daß der sogenannte "Frosteffekt" nicht in Erscheinung tritt, wenn durch Niederschläge nach Frostperioden viel Mineralstickstoff ausgewaschen wird.

Tab. 10: Nach 6-wöchiger Lagerung im Freiland angereicherter Mineralstickstoff in den bodenfrostgefährdeten Probeflächen (kg N/ha)

Pr.-Fl.	1973	12.5.	16.6.	7.7.	28.7.	18.8.	8.9.	29.9.	20.10.	10.11.
11		1	2	9	9	20	24	11	- 4	20
12		2	0	19	9	33	27	28	7	51
	1974									
		11.5	1.6	22.6	13.7.	3.8.	24.8.	14.9	5.10.	26.10.
11		13	4	27	25	29	13	13	8	17
12		6	13	4	11	38	34	25	9	65

Tab. 11: Gegenüberstellung der Minimum-Temperaturen an der Bodenoberfläche von Probefläche 11 und 13 auf Strandwall II (° C) 1974

Pr.-Fl.	20.4.	11.5.	1.6.	22.6.	13.7.	3.8.	24.8.	14.9.	5.10.	26.10.
11	- 2	1,5	- 1	9	14,5	7	10,5	7	6	- 1,5
13	-0,5	4,5	6,5	12	13,0	10,5	12	10	6	4

5.5 Bedeutung des Stickstoffs für die Konkurrenzkraft einiger Arten des Küstenbereichs

Von OBERDORFER (1970) wurden nahezu alle Arten, die für die Pflanzengesellschaften des Graswarders charakteristisch sind, als mehr oder weniger nährstoffliebend bezeichnet. Die kurzlebige und zu jeder Jahreszeit blühende *Stellaria media* gilt als besonders anspruchsvoller Stickstoff- und Phosphorzeiger (ELLENBERG 1963). Ein massenhaftes Auftreten dieser Art konnte im Oktober 1974 beobachtet werden, als bei guter Durchfeuchtung des Bodens die offenen Flächen auf dem Rücken des Strandwalls II von der Hühnermiere geradezu überzogen waren. Hierdurch kam ein Überangebot an Nährstoffen zum Ausdruck, das von den übrigen Arten dieses lockeren Pflanzenbestandes kaum genutzt werden konnte. Dieses Überangebot war sehr wahrscheinlich noch nicht oder doch zu einem kleinen Teil die Folge eines "Frosteffektes", zumal die Ausbreitung von *Stellaria media* schon im feuchten Spätsommer einsetzte. Als Hauptursache kommt jedoch eine Düngung durch Vogelkot in Frage, auf die bereits mehrfach hingewiesen wurde.

Daß dem Stickstoff als einem der wichtigsten pflanzlichen Nährelemente auch eine besondere, noch wenig beachtete Bedeutung für das Gleichgewicht von bodenbiologischen Prozessen gerade auf Salzstandorten zukommt, konnte EIGNER (1973) experimentell nachweisen, in dem er für den Meerkohl (*Crambe maritima*) bei einem reichlichen Stickstoffangebot nicht nur eine Erhöhung der Keimungsraten, sondern auch eine Erweiterung der Salzverträglichkeit bei der Keimung feststellte.

5.6 Dynamik des Stickstoffs in den Strandwällen

Eine abschließende Betrachtung läßt unter Berücksichtigung der N-Gehalte in der organischen Substanz des Bodens und in der Biomasse folgendes Modell des Stickstoffumsatzes für die Strandwälle des Graswarders als denkbar erscheinen (Abb. 40):

Durch Niederschläge werden jährlich etwa 10 kg N/ha zugeführt. Mit Exkrementen der Seevögel erfolgt eine ständige Stickstoffzufuhr in der Größenordnung von 30 - 60 kg N/ha/Jahr. Diese Stickstoffzufuhr geht zumindest teilweise

in die Kreisläufe ein, die in den Pflanzenbeständen ablaufen. Auf den Wallkuppen steht dem Lolium-Trittrasen und dem Rotschwingelrasen ein N_{min}-Angebot zwischen 100 und 200 kg N/ha/Jahr zur Verfügung. Dagegen dürfte für den Andelrasen das aus der Mineralisation hervorgegangene N_{min}-Angebot kaum über 50 kg N/ha/Jahr liegen. Da die N-Menge in der oberirdischen Biomasse des Andelrasens aber kaum geringer ist, als bei den übrigen Pflanzengesellschaften des Graswarders, muß eine zusätzliche Stickstoffzufuhr angenommen werden. Diese erfolgtwahrscheinlich über das Grundwasser, das von den Wallkuppen zeitweilig nach außen dringt. Die Anreicherung des Grundwassers unter den Strandwällen mit mineralischem Stickstoff wurde nachgewiesen und auf Auswaschungsverluste der höher gelegenen Strandwallgesellschaften zurückgeführt. Die zusätzliche Stickstoffversorgung des Andelrasens über das Grundwasser würde dessen hohe Produktivität erklären. Außerdem fände der von HOPPE (1971) und PERSCHKE (1974) festgestellte, auffallend hohe Stickstoffgehalt der Torfschichten auf den Wallfüßen durch eine derartige seitliche Zufuhr eine zwanglose Deutung. Ob der N-Gehalt sowie die seitliche Bewegung des Grundwassers groß genug sind, um diese Erklärung zu rechtfertigen, müßte freilich noch gemessen werden, und zwar mindestens während eines ganzen Jahres.

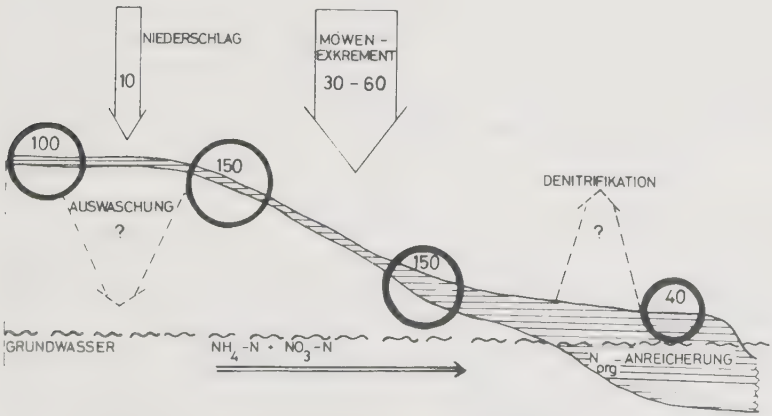

Abb. 40: Modell des Stickstoffumsatzes für die Strandwälle des Graswarders
In den Kreisen ist die jährliche N_{min}-Nettomineralisation unter den entsprechenden Pflanzengesellschaften enthalten. Alle angegebenen Zahlen entsprechen kg N/ha.

6. ZUSAMMENFASSUNG

1. Die für das Strandwallsystem des Graswarders vor Heiligenhafen typischen Rasengesellschaften wurden an drei unterschiedlich alten Strandwällen auf ihre Versorgung mit Mineralstickstoff sowie auf Faktoren untersucht, von denen diese abhängt.

2. Die beträchtlichen Verschiedenheiten im Jahresgang der Bodenfeuchte unter den Pflanzengesellschaften zeigten deutliche Auswirkungen auf die Stickstoffmineralisation sowie auf die Akkumulation von organischem Stickstoff. Dagegen ist es unwahrscheinlich, daß die Stickstoffumsätze durch die meist schwache bis mäßige Acidität in nennenswertem Maße beeinflußt werden.

3. Bei der Bebrütung von Bodenproben bei konstanter Temperatur von 20° C im Laboratorium zeigten die Standorte Mineralisationsleistungen, die im wesentlichen ihren mehr oder weniger großen Stickstoffvorräten entsprachen. Stark vernäßte, d. h. sauerstoffarme Böden konnten aber trotz günstiger Wärmebedingungen nur geringe Mineralstickstoffanreicherungen erbringen.

4. Die Bebrütung unter Freilandbedingungen, also bei niedriger Temperatur, führte in Böden der älteren Strandwallkuppe zu einer wesentlich geringeren Mineralisationsleistung als im Labor. Für die Böden des jüngeren Strandwalls ergab sich jedoch umgekehrt eine Steigerung. Dieses unterschiedliche Verhalten wurde vor allem mit der niedrigen Lage des älteren Strandwalles zum Grundwasserspiegel sowie einer unterschiedlich starken Zufuhr von Möwenexkrementen erklärt.

5. Durch den Vergleich des aktuellen und des bei sechswöchiger Bebrütung angereicherten Mineralstickstoffs sowie durch Messung der N_{min}-Gehalte im Grundwasser läßt sich die Zufuhr von Stickstoff durch Möwenexkremente abschätzen. Außerdem wurde die Verlagerung des Mineralstickstoffs von der Wallkuppe über das Grundwasser in die am Wallfuß gelegenen Böden diskutiert. Sie ist die wahrscheinlichste Ursache für den ungewöhnlich hohen Stickstoffgehalt der Torfschichten auf den Füßen der älteren Strandwälle.

6. Ein Vergleich beweideter und unbeweideter Probeflächen desselben Strandwalls erbrachte eine erhöhte N-Mineralisation in den aufgelockerten oberen Bodenhorizonten der unbeweideten Fläche.

7. Die Summe der jährlichen Mineralstickstoffnachlieferung wurde für die untersuchten Pflanzengesellschaften grob ermittelt. Hierbei wurden unter Vernachlässigung des Winterhalbjahres die bei der Freilandbebrütung von März bis Oktober festgestellten Mineralisationserträge als Jahressumme angesehen.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Bätjer, D., 1968: Der Wasserhaushalt Nordwestdeutschlands. Aktuelle Fragen des Landbaues. Schr. r. der Landwirtschaftskammer Weser-Ems Nr. 4

Black, C. A. (Hrsg.), 1965: Methods of Soil Analysis, Part 2, Madison

Booth, W., 1941: Algae as pioneers in plant succession and their importance in erosion control. Ecology 22

Bremner, J. M., 1960: Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl-method. J. Agr. Sci. 55: 11 - 33

- & A. P. Edwards, 1965: Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I: Apparatus and produce for distillation and determination of ammonium. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29:504-507

- & D. R. Keeney, 1965: Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. Anal. Chim. Acta 32: 485-495

Brenner, W., 1931: Beiträge zur edaphischen Ökologie der Vegetation Finnlands II Wiesen. Acta Bot. Fenn 9, 1 - 58

Chapman, V. J., 1960: Salt marshes and salt deserts of the world. Plant Science Monographs. - London, 390 S.

Dierschke, H., 1974: Saumgesellschaften im Vegetations-und Standortgefälle an Waldrändern. Scripta Geobotanica. Nr. 6, 1 - 250

Egnér, H. & Erikson, E., 1955: Current data on the chemical composition of air and precipitation. Tellus Vol 7, Stockholm

Eigner, J., 1973: Zur Standorts-, Ausbreitungs- und Keimungsökologie des Meerkohls (Crambe maritima). Dissertationes Botanicae Bd. 25, Verlag von J. Cramer

Ellenberg, H., 1958: Bodenreaktion einschließlich der Kalkfrage. Hdbuch d. Pflanzenphysiologie, Bd. 4, 638 - 708

- 1963: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Stuttgart. 945 S.

- 1964: Stickstoff als Standortsfaktor. Ber. Deut. Botn. Ges. Bd. 77, H. 3, 82 - 92

- 1968: Zur Stickstoff- und Wasserversorgung ungedüngter und gedüngter Feuchtwiesen - ein Nachwort. Ber. Geob. Inst. ETH, Stiftg. Rübel 41: 194 - 200. Zürich

Engel, H., 1958: Nitrifikation. Hdbuch d. Pflanzenphysiologie, Bd. 8, 1107 - 1127

Ehrhardt, F., 1961: Untersuchungen über den Einfluß des Klimas auf die Stickstoffnachlieferung von Waldhumus in verschiedenen Höhenlagen der Tiroler Alpen. Forstwiss. Zentr. 80: 193 - 215

Ernst, W., 1969: Beitrag zur Kenntnis der Ökologie euro. Spülsaumgesellschaften. I. Mittl.: Sand- und Kiesstrände. Mittl.Flor. Soz. Arbeitsgem. 14, 86 - 94

Gerlach, A., 1973: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Stickstoffmineralisation. Scripta Geobotanica 5, 1 - 115

Gessner, F., 1932: Die Entstehung und Vernichtung von Pflanzengesellschaften an Vogelnistplätzen. Beih. z. Zentralblatt, Erg. Bd. 49, S. 113 - 128

- 1957: Meer und Strand. - 2. Aufl. Berlin, 426 S.

Goethe, F., 1969: In Grzimek, B.(Hrsg.), Grzimeks Tierleben Bd. VIII, Vögel 2. Kindler Verlag Zürich, S. 203

Gray, A. J. & Bunce, R. G. H., 1972: The Ecology of Morecambe Bay. VI Soils and Vegetation of the Salt Marshes: A multivariate approach. J. appl. Ecol. 9

Helwani, H., 1971: Contribution a l'étude de l'activité Biologique des sols salée littoraux. Acad. de Montpellier Uni. des Sc. et Techn. du Languedoc, Thèse, 1 - 89

Hoffmann, F., 1963: Beitrag zur Methode der Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl. Z. Landw. Versuchs- u. Untersuchungsw. 9, 295 - 298

Hoppe, I. M., 1971: Untersuchungen über den Stickstoff- und Phosphorgehalt in Strandwällen verschiedenen Alters bei Heiligenhafen/ Ostsee. Unveröff. Diplomarbeit, Göttingen, 31 S.

Horst, K., 1964: Klima- und Bodenfaktoren in Zwergstrauch- und Waldgesellschaften des Naturschutzparks Lüneburger Heide. Naturschutz zur Landschaftspflege in Niedersachsen, Hannover, H. 2, 1 - 60

Jenny-Lips, H., 1930: Vegetationsbedingungen und Pflanzengesellschaften auf Felsschutt. Phytosoziologische Untersuchungen in den Glarner Alpen. Sonderabdruck aus d. Beiheften zum Botan. Zbl., Bd. XLVI, Abtl. II, Heft 2/3

Klapp, E., 1965: Grünlandvegetation und Standort. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

Klötzli, F., 1969: Zur Ökologie schweizerischer Bruchwälder unter besonderer Berücksichtigung des Waldreservates Moos bei Birmensdorf und Katzensees. Ber. Geobotan. Inst. ETH Stiftg. Rübel 39: 56 - 123

Köster, R., 1955: Die Morphologie der Strandwall-Landschaften und die erdgeschichtliche Entwicklung der Küsten Ostwagriens und Fehmarns. Meyniana (Veröff. Geolog. Institut Univ. Kiel) 4, 52 - 65

- 1961: Junge eustatische und tektonische Vorgänge im Küstenraum der südwestlichen Ostsee. - Meyniana (Veröff. Geol. Inst. Univ. Kiel) 11, 23 - 81

Krause, W., 1958: Ruderalpflanzen. Hdbuch d. Pflanzenphysiologie, Bd. 4, S. 737 - 754

Kusserow, B., 1970: Einfluß der Meersalzkonzentrationen im Boden auf Wuchsleistung von zwei Grasarten. - Unveröff. Examensarbeit Univ. Göttingen, 42 S.

Laatsch, W., 1954: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. Dresden und Leipzig

Lache, D. W., 1974: Wasser- und Stickstoff-Versorgung sowie Mikroklima von Heide- und Binnendünen-Gesellschaften NW-Deutschlands. Diss. Univ. Göttingen

Leôn, R., 1968: Balance d'eau et d'azote dans les prairies âlitière des alentours de Zurich. - Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftg. Rübel 41: 2 - 67. Zürich

Lötschert, W. & Ullrich, C., 1961: Zur Frage jahreszeitlicher pH-Schwankungen an natürlichen Standorten. Flora 150 (657 - 674)

- & Horst, K., 1962: Zur Frage jahreszeitlicher pH-Schwankungen. II Untersuchungen an Heide- und Waldstandorten. Flora 152, 689 - 701

Meyer, F., H., 1957: Über Wasser- und Stickstoffhaushalt der Röhrichte und Wiesen im Elballuvium bei Hamburg. Mitteilungen aus dem Staatsinst. f. allgem. Bot., Bd. 11, S. 137 - 204

Oberdorfer, E., 1970: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Süddeutschland. Ulmer Verlag, Stuttgart

Pankow, H., 1969: In Arndt, E. A., (Hrsg.) Zwischen Düne und Meeresgrund.

Perschke, F., 1974: Anreicherung organischer Auflageschichten und deren Gehalt an Gesamtstickstoff auf Strandwällen bei Heiligenhafen/ Ostsee. - Diplomarbeit, Göttingen, 36 S.

Rheinheimer, G., 1967: Ökologische Untersuchungen zur Nitrifikation in Nord- und Ostsee. Helgoländer Wiss. Meeresunters. 15, 243-252

- 1973: In Ellenberg, H. (Hrsg.), Bakterien im Stickstoffkreislauf des Meeres. Ökosystemforschung, Springer-Verl.

Riede, U., 1973: Die Bestimmung der maximalen Biomasse und deren Gehalt an Gesamtstickstoff verschiedener Pflanzengesellschaften des Graswarders vor Heiligenhafen/Ostsee. - Unveröff. Diplomarbeit, 47 S.

Rietz, Du, G. E., 1932: Zur Vegetationsökologie der ostschwedischen Küstenfelsen. Beih. z. Zentralblatt, Erg. Bd. 49, S. 61-112

Runge, M., 1965: Untersuchungen über die Mineralstickstoff-Nachlieferung an nordwestdeutschen Waldstandorten. Flora 155, 335 - 386

- 1970: Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoff-Nachlieferung am Standort. Flora B 159: 233 - 257

Seifert, G., 1955 a: Die postglaciale Geschichte der Warder und der Eichholzniederung bei Heiligenhafen. - Meyniana (Veröff. Geol. Inst. Univ. Kiel) 4, 37 - 51

- 1955 b: Die Steilufer als Materiallieferanten der Sandwanderung. - Meyniana (Veröff. Geol. Inst. Univ. Kiel) 4, 78 - 83

Scheffer, F. & Schachtschabel, P., 1970: Lehrbuch der Bodenkunde. 7. Aufl. Stuttgart

Schmeisky, H., 1974: Vegetationskundliche und ökologische Untersuchungen in Strandrasen des Graswarders vor Heiligenhafen/Ostsee. Diss. Univ. Göttingen

Schmidt, W., 1970: Untersuchungen über die Phosphorversorgung niedersächsischer Buchenwaldgesellschaften. - Scripta Geobotanica 1, 120 S.

Schmitz, H., 1953: Die Waldgeschichte Ostholsteins und der zeitliche Verlauf der postglacialen Transgression an der holsteinischen Ostseeküste. - Ber. Dtsch. Bot. Ges. 66, 151 - 166

Stadie, R., 1929: Beiträge zur Biologie der schlesischen Lachmöwenkolonien. Berichte des Vereins schlesischer Ornithologen.

Steubing, L., 1965: Pflanzenökologisches Praktikum. Berlin, Hamburg

Tyler, G., 1967: On the effekt of phosphorus and nitrogen, supplied to Baltic shore-meadow vegetation. Botaniska Notiser, Vol 120-4

- 1971 b: Distribution and turnover of organic matter and minerals in a shore meadow ecosystem. Studies in the ecology of Baltic seashore meadows IV. - Oikos 22, 265 - 291

Walter, H., 1927: Einführung in die allgemeine Pflanzengeographie Deutschlands. Jena, 458 S.

- 1960: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I. Standortslehre, 2. Aufl. Stuttgart

Williams, J. T., 1968: The nitrogen relations and other ecological investigations on wet fertilized meadows. Veröff. Geobotan. Inst. ETH., Stiftg. Rübel, Zürich 41, 69

Zimmek, G. E., 1972: Experimente und Literatur zur Wuchsleistung von Puccinellia maritima unter verschiedenen Umweltbedingungen. Unveröff. Staatsexamensarbeit, Göttingen, 66 S.

Zöttl, H., 1958: Bestimmung der Stickstoffmineralisation im Waldhumus durch den Brutversuch. Z. Pflanzenern., Düng. und Bodenkunde 81 (126), 35

Zöttl, H., 1960 a: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoffnachlieferung des Waldbodens. Forstw. Cbl. 79. Jg. (3/4), 72

- 1960 b: Die Mineralstickstoffanlieferung in Fichten- und Kiefernbeständen Bayerns. Forstw. Cbl. 79. Jg. (7/8), 221.

- 1965: Anhäufung und Umsetzung von Stickstoff im Waldboden. Ber. Deut. Bot . Ges. 78, 167.

GERD-ERICH ZIMMEK 3400 Göttingen 1, Hohe Linde 21

Lebenslauf

Am 11.7.1947 wurde ich als Sohn des Ofensetzermeisters Erich Zimmek und seiner Ehefrau Gerda Zimmek in Detmold geboren.

Ostern 1954 wurde ich in die Grundschule in Detmold eingeschult. Diese besuchte ich bis Ostern 1958 und wechselte dann auf das math.-nat. Gymnasium - Leopoldinum II - über. Das Leopoldinum habe ich im Juni 1967 mit dem Abitur verlassen.

Im Wintersemester 1967 fing ich mit dem Biologie- und Sportstudium an der Universität Göttingen an. Am 15. Oktober 1969 bestand ich die Zwischenprüfung und am 13. Juni 1972 das Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien beim wissenschaftlichen Prüfungsamt Göttingen.

Am 1. April 1971 heiratete ich meine Ehefrau Ilona Zimmek, geb. Freudenau.

Am 13. 12. 1973 wurde unser Sohn, Alexander Zimmek, geboren.